

Rec'd PCT/PTO 11 MAY 2005

10/534917/14400

10/534917

13.11.03

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

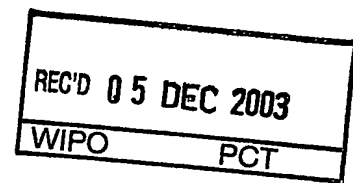
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2002年11月14日

出願番号
Application Number: 特願2002-331090
[ST. 10/C]: [JP2002-331090]

出願人
Applicant(s): ソニー株式会社



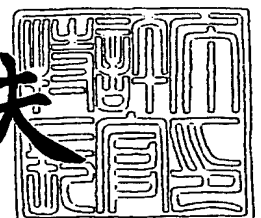
BEST AVAILABLE COPY

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 8月25日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 0290783202

【提出日】 平成14年11月14日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G03F 7/20 521

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社
内

 【氏名】 大森 真二

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社
内

 【氏名】 守屋 茂

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社
内

 【氏名】 納土 晋一郎

【特許出願人】

 【識別番号】 000002185

 【氏名又は名称】 ソニー株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100094053

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 佐藤 隆久

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 014890

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9707389

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 露光方法および半導体装置の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】

露光時に対し反転した姿勢でマスクのパターン位置を計測する工程と、
前記計測された前記パターン位置に対し前記露光時の姿勢における重力によるパターン変位を考慮した補正を行い、補正された補正パターン位置の設計データからの差に基づいて第1の補正データを作成する工程と、
前記第1の補正データに基づいて、荷電粒子ビームを偏向させて被露光体に露光されるパターンの位置を補正して露光を行う工程と
を有する露光方法。

【請求項2】

予めテスト用マスクを用いて姿勢の反転前後の重力によるパターン変位の相関を示す伝達関数を求めておき、
前記計測された前記パターン位置に対し前記伝達関数を用いて補正を行う
請求項1記載の露光方法。

【請求項3】

前記マスクには、被露光体に転写するパターンとは異なる位置計測用パターンが設けられており、
前記マスクのパターン位置を計測する工程において、前記マスクの前記位置計測用パターンの位置を計測する
請求項1記載の露光方法。

【請求項4】

前記露光を行う工程の前に、
前記露光時の姿勢における前記マスクの曲面形状を測定する工程と、
前記測定された曲面形状に基づいて、個々のマスクの前記露光時の姿勢での曲面形状に起因するパターン位置の変動を示す第2の補正データを求める工程とを
さらに有し、
前記露光工程において、前記第1の補正データと前記第2の補正データに基づ

いて、露光用ビームを偏向させて被露光体に露光されるパターンの位置を補正して露光を行う

請求項 1 記載の露光方法。

【請求項 5】

前記第 2 の補正データを求める工程は、

予め測定された前記露光時の姿勢におけるテスト用マスクの曲面形状と前記測定された前記マスクの曲面形状の差に基づいて、前記パターン位置の変動を示す前記第 2 の補正データを求める

請求項 4 記載の露光方法。

【請求項 6】

前記第 2 の補正データを求める工程は、

複数のテスト用マスクに対して、露光時の姿勢における複数の曲面形状に対するパターン位置の変動を示す複数の第 2 の補正データを作成しておき、

測定された前記マスクの前記曲面形状に対し、前記データベースから最も曲面形状の近い前記テスト用マスクに相当する第 2 の補正データを読み出し利用する

請求項 4 記載の露光方法。

【請求項 7】

マスクを介して荷電粒子線を照射することにより、半導体装置にパターンを転写する露光工程を有する半導体装置の製造方法であって、

前記露光工程において、

露光時に対し反転した姿勢でマスクのパターン位置を計測する工程と、

前記計測された前記パターン位置に対し前記露光時の姿勢における重力によるパターン変位を考慮した補正を行い、補正された補正パターン位置の設計データからの差に基づいて第 1 の補正データを作成する工程と、

前記第 1 の補正データに基づいて、荷電粒子ビームを偏向させて被露光体に露光されるパターンの位置を補正して露光を行う工程と

を有する半導体装置の製造方法。

【請求項 8】

予めテスト用マスクを用いて姿勢の反転前後の重力によるパターン変位の相関

を示す伝達関数を求めておき、

前記計測された前記パターン位置に対し前記伝達関数を用いて補正を行う

請求項7記載の半導体装置の製造方法。

【請求項9】

前記マスクには、被露光体に転写するパターンとは異なる位置計測用パターンが設けられており、

前記マスクのパターン位置を計測する工程において、前記マスクの前記位置計測用パターンの位置を計測する

請求項7記載の半導体装置の製造方法。

【請求項10】

前記露光を行う工程の前に、

前記露光時の姿勢における前記マスクの曲面形状を測定する工程と、

前記測定された曲面形状に基づいて、個々のマスクの前記露光時の姿勢での曲面形状に起因するパターン位置の変動を示す第2の補正データを求める工程とをさらに有し、

前記露光工程において、前記第1の補正データと前記第2の補正データに基づいて、露光用ビームを偏向させて被露光体に露光されるパターンの位置を補正して露光を行う

請求項1記載の半導体装置の製造方法。

【請求項11】

前記第2の補正データを求める工程は、

予め測定された前記露光時の姿勢におけるテスト用マスクの曲面形状と前記測定された前記マスクの曲面形状の差に基づいて、前記パターン位置の変動を示す前記第2の補正データを求める

請求項10記載の半導体装置の製造方法。

【請求項12】

前記第2の補正データを求める工程は、

複数のテスト用マスクに対して、露光時の姿勢における複数の曲面形状に対するパターン位置の変動を示す複数の第2の補正データを作成しておき、

測定された前記マスクの前記曲面形状に対し、前記データベースから最も曲面形状の近い前記テスト用マスクに相当する第2の補正データを読み出し利用する請求項10記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば、半導体装置の製造において使用される露光方法および当該露光方法を用いた半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

次世代リソグラフィとして開発が進められている電子線やイオンビームという荷電粒子を用いたリソグラフィに用いられるマスクに共通な点は、マスクブランクス（マスクのもとになる基板）を裏面側から深くエッチングすることにより、マスク上に厚さおよそ10nmから10 μ mの薄膜領域（メンブレン）を形成し、そのメンブレン上に転写すべきパターンを配置することである。

【0003】

これらのマスクは機械的剛性の低いメンブレン領域を含むため、位置精度の高いパターンを形成する方法だけでなく、マスクの歪を計測し、その情報を利用して位置誤差を補正する技術が重要である。

【0004】

例えば、電子線転写リソグラフィ（EPL）においては、梁構造を有するステンスルマスクが用いられるが、梁上に形成されたマークをレーザー干渉式座標測定器で測定し、計測されたマスク歪を電子光学系で補正する方法が提案されている。

【0005】

しかし、後述の通り、重力によるマスク変形の影響はあからさまには考慮されていない。さらに、仮に計測されたマスク歪データに対して、重力の影響を数値処理で算出するとしても、マスク形状の個体差、固定方法の再現性、あるいは座標測定器と露光装置の固定方法の差異が考えられていない。

【0006】

一方、近接X線リソグラフィー（PXL）においては、マスクの変形をあらかじめEB描画の時点で補正する方法が提案されている（特許文献1参照。）。

【0007】

【特許文献1】

特開平8-203817号公報

【特許文献2】

特開平6-18220号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、この方法では不可避免的にマスクを2枚製作しなくてはならず、製造時間、手間、およびコストの観点から望ましくない。PXLマスクの歩留を考慮すれば、一つのマスクを完成させるために、複数枚以上の試作を繰り返す必要すらある。実際、この方法によるPXLマスクの製造は広く普及するに至っていない。

【0009】

フォトリソグラフィにおいてもマスクの重力変形は認識されているが（特許文献2参照）、マスク固定方法の改善などハードウェア的な対策が提案されているのみである。

【0010】

本発明は上記の事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、マスクパターンの電子線描画データの補正だけでは低減できないパターン位置誤差を露光時において補正することができる露光方法を提供することにある。

また、本発明の他の目的は、上記の露光方法を用いた半導体装置の製造方法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、本発明の露光方法は、露光時に対し反転した姿勢でマスクのパターン位置を計測する工程と、前記計測された前記パターン位置に

対し前記露光時の姿勢における重力によるパターン変位を考慮した補正を行い、補正された補正パターン位置の設計データからの差に基づいて第1の補正データを作成する工程と、前記第1の補正データに基づいて、荷電粒子ビームを偏向させて被露光体に露光されるパターンの位置を補正して露光を行う工程とを有する。

【0012】

上記の本発明の露光方法では、露光時に対し反転した姿勢で計測されたマスクのパターン位置に対し、露光時の姿勢における重力によるパターン変位を考慮した補正を行い、補正された補正パターン位置の設計データからの差に基づいて第1の補正データを作成している。

そして、第1の補正データに基づいて、荷電粒子ビームを偏向させて被露光体に露光することにより、被露光体に露光されるパターンの位置が補正され、パターンの位置誤差が低減される。

【0013】

上記の目的を達成するため、本発明の半導体装置の製造方法は、マスクを介して荷電粒子線を照射することにより、半導体装置にパターンを転写する露光工程を有する半導体装置の製造方法であって、前記露光工程において、露光時に対し反転した姿勢でマスクのパターン位置を計測する工程と、前記計測された前記パターン位置に対し前記露光時の姿勢における重力によるパターン変位を考慮した補正を行い、補正された補正パターン位置の設計データからの差に基づいて第1の補正データを作成する工程と、前記第1の補正データに基づいて、荷電粒子ビームを偏向させて被露光体に露光されるパターンの位置を補正して露光を行う工程とを有する。

【0014】

上記の本発明の半導体装置の製造方法では、露光時に対し反転した姿勢で計測されたマスクのパターン位置に対し、露光時の姿勢における重力によるパターン変位を考慮した補正を行い、補正された補正パターン位置の設計データからの差に基づいて第1の補正データを作成している。

そして、第1の補正データに基づいて、荷電粒子ビームを偏向させて被露光体

に露光することにより、被露光体に露光されるパターンの位置が補正され、パターンの位置誤差が低減される。

【0015】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。

本実施形態では、次世代リソグラフィとして開発が進められている電子線やイオンビームという荷電粒子を用いたリソグラフィに本発明を適用した例について説明する。

【0016】

まず、本実施形態において適用対象となるマスクについて説明する。

上記のリソグラフィには、マスクを透過した荷電粒子線を電子／イオン光学系によりウエハ上に縮小投影するタイプのもの（EPL: Electron Projection Lithography、IPL: Ion Projection Lithographyなど）、および、マスク直下に近接させたウエハ上に結像光学系を介さずにマスクパターンを転写するタイプのもの（PEL: Proximity Electron Lithography）がある。

【0017】

上記の技術に共通なのは、マスクブランクス（マスクのもとになる基板）を裏面側から深くエッチングすることにより、マスク上に厚さおよそ10nmから10 μ mの薄膜領域（メンブレン）を形成し、そのメンブレン上に転写すべきパターンを配置することである。転写パターンが（1）メンブレンの開口により形成されるものはステンシルマスク（例えば、H. C. Pfeiffer, Jpn. J. Appl. Phys. 34, 6658 (1995) ）、（2）金属薄膜など荷電粒子線の散乱体で形成されるものは散乱メンブレンマスク（例えば、L. R. Harriott, J. Vac. Sci. Technol. B 15, 2130 (1997) ）、と呼ばれる。ステンシルマスクと散乱メンブレンマスクの断面構造の例を図1に示す。

【0018】

図1（a）は、SOI基板を用いて形成されたステンシルマスクの断面図である。図1（a）に示すステンシルマスクは、シリコン基板10上にエッチングストッパ膜11を介してSOI層からなるメンブレン（薄膜）12が形成されてい

る。シリコン基板10およびエッチングストッパ膜11が加工されて梁13が形成されており、梁13により区画されたメンブレン12には、孔によりパターン12aが形成されている。エッチングストッパ膜11の膜厚は、例えば1 μ mであり、メンブレン12の膜厚は例えば2 μ mである。

【0019】

図1(b)は、散乱メンブレンマスクの断面図である。散乱メンブレンマスクは、シリコン基板20上に例えば窒化シリコンからなるメンブレン21が形成されており、シリコン基板20が加工されて梁22が形成されている。梁22により囲まれたメンブレン21上には、クロム膜23aおよびタングステン膜23bからなる散乱体パターン23が形成されている。メンブレン21の膜厚は、例えば150nmであり、クロム膜23aの膜厚は例えば10nmであり、タングステン膜23bの膜厚は例えば50nmである。

【0020】

図2(a)は、図1に示すマスクの平面図である。図2(a)に示すように、マスクの中心に、孔によるパターン12aや散乱体パターン23が形成された露光領域Aが設けられる。

図2(b)は、図2(a)の露光領域Aを拡大して示す斜視図であり、上記のマスクは、機械的剛性の低いメンブレンを有するため、マスク領域全面を単一のメンブレンで構成するのではなく、格子状の梁で分割された多数の小画メンブレンから構成される。このような梁構造を有するマスクの製造方法として、KOHなどのアルカリ溶液によるウェットエッチングをもちいる方法や反応性イオンエッチングをもちいる方法がある。

【0021】

次に、上記のマスクのパターン位置誤差に影響する要因について説明する。

上記のマスクのパターン位置(IP: Image Placement)の誤差は、(1)マスク製造プロセスにおいて生じる誤差、(2)露光装置にマスクを装着した時に、マスクが変形することにより生じる誤差、(3)マスクパターンの粗密により生じる誤差、および(4)荷電粒子照射によるマスク加熱やマスクの移動による振動など、露光中に生じる誤差の4つに大別することができる。

【0022】

上記のうち、(3)の補正方法として未公開の先行出願がある(特願2002-119845号参照)。(4)に関しては、数keV程度の低速電子線をもちい、かつ露光中マスクが移動しないPELでは問題にならないと考えられるが、100keVの高速電子線をもちい、かつ露光中マスクが最大で0.2m/s程度の加速度を受けるEPLでは問題となり得るため、マスクの冷却機構およびマスクステージ移動シーケンスの最適化など、装置的(ハードウェア的)対策が必要とされる。

【0023】

本実施形態では、上記の(1)と(2)を露光装置の荷電粒子光学系で補正する方法を述べる。(1)は更に細かい要因に分類されるが、主要因はマスクパターンのEB描画で生じる誤差である。図1(a)に示した構造を有するEPLマスク上に格子状に描画したパターンの位置精度を、レーザー干渉式座標測定器で測定したデータ例を図3に示す。

【0024】

図3(a)は、理想的なパターン配置を示し、図3(b)は実際に描画されたパターン配置を示し、図3(c)は座標測定器による測定データを示す。なお、図3(b)のパターンの変位は誇張して表示している。

【0025】

図3に示すように、EB描画機用ウエハステージの機械的特性などにより、パターン位置(IP)精度に系統的な誤差が生じていることが分かる。このような系等誤差は、図3のデータをEB描画機の電子光学系にフィードバックすることにより低減することができるが、完全になくすことは難しい。

【0026】

(2)の主要因は2つある。図4は、第1の要因を説明するための図である。なお、図4では一例としてステンシルマスクを挙げている。

図4(a)に示すように、メンブレン12が上向きの状態でメンブレン12上にレジストRを塗布し、当該レジストRを電子線により直接描画してパターンを形成し、当該レジストRをマスクとしてメンブレン12をエッチングすることに

より、メンブレン12に孔からなるパターン12aを形成している。そして、製造されたマスクに対して、パターンの位置精度を評価する時、図4(a)と同様に、マスクはメンブレン側の面を上向きにしている。

【0027】

一方で、図4(b)に示すように、上記のようにして形成されパターン位置精度が測定されたマスクは、メンブレン12を下向きにした状態で、すなわちウェーハに対しメンブレン12側が近接した状態で、梁13の形成側から電子線が照射されて露光される。

【0028】

このように、製造およびパターン位置測定時に対して露光時のマスクの姿勢が反転する。従って、図4(c)に示すように、メンブレン12は重力によって撓むため、上面側は収縮し、下面側は伸長する。図4(c)のz軸は鉛直方向を示している。このような重力変形があることから、メンブレン12が上向きの状態で正確な位置にパターンを形成したとしても、マスクを反転させて露光を行うと、パターンの位置がずれてしまう。

【0029】

ステンシルマスクの重力による変形は有限要素シミュレーションなどによって定量的に論じられている(EPLマスクに関しては、C.-f. Chen et al., J. Vac. Sci. Technol. B 19, 2646 (2001)。PELマスクに関しては、S. Omori et al., presented at the forty-sixth International Conference on Electron, Ion, Photon Beam Technology and Nanofabrication, Anaheim Hilton, Anaheim, CA, 2002)。

【0030】

第2の要因は、EB描画機と露光装置のマスク固定方法の相違である。半導体あるいはマスク製造装置において、処理される試料(ウェーハやマスクブランク)は真空チャック、静電チャック、あるいは機械的なクランプなどにより装置内にしっかりと固定されるが、その固定方式は装置によってまちまちである。EB描画機と露光装置のマスク固定方法が異なる場合、両者内でのマスクの平面度も異なるので、図4(c)と同じメカニズムでパターンの変位が生じてしまう。

【0031】

次に、本実施形態における露光までのフローについて、図5を参照して説明する。本実施形態のフローでは、データ処理工程と、マスク製造プロセスと露光工程とに大別される。

【0032】

まず、オリジナルのマスク設計データ（パターンの位置をR0で表す）に、上述した重力によるパターン変位を考慮した補正を加えて、EB描画用データ（パターン位置R1）を作成するデータ処理工程について説明する。なお、当該データ処理工程に関しては、未公開の先行出願特願2002-092612号に記載されているのと同様の処理を行うため、以下に簡単に述べるにとどめる。本実施形態では、これに続くフローにより、データ処理工程のみでは排除できない誤差要因を低減させるものである。

【0033】

まず、あらかじめEB描画補正用データを取得するためのテスト用マスクを作製しておく（ステップST1）。このマスクは実際のデバイスパターンを含んでいる必要はなく、図1および図2に示したマスク構造が不変である限り、基本的には1個もしくは再現性を確認するために数個作製するのみでよい。

【0034】

テスト用マスクは、図3（a）に示したように、レーザー干渉式座標測定器によるパターン位置（IP）精度測定用のパターンをマスク領域全面に含んでいるが、このパターンは一般に大きさが数 μm から十数 μm の単純な形状（正方形や井桁形状など）をしており、その描画、加工は極めて容易である。つまり、テスト用マスクの製作は、その数量からも技術的な難易度からも、生産用マスクの製造を妨げるものではない。

【0035】

次に、図6（a）に示すように保持手段30によりメンブレン12が上向きの姿勢でテスト用マスクTMを保持して、このテスト用マスクのパターン位置RMを測定する（ステップST2）。露光時と同じ姿勢、すなわちメンブレンが下向きの姿勢でパターン位置（IP）測定ができれば便利であり、かつそれは原理的

には不可能ではないが、現在入手可能な標準的な座標測定器は、パターン面を上側にして測定するように設計されている。装置の改造は、コスト増加を招き、かつ他目的の測長を妨げるので望ましくない。

【0036】

次に、図6(b)に示すように、露光装置のマスク保持手段31によりメンブレン12が下向きとなるようにテスト用マスクTMを保持して、荷電粒子線を走査することにより、テスト用マスクTM上のパターン位置(IP)測定用のパターンをレジストRが塗布されたウエハ40に転写する。続いて、図6(c)に示すように、現像後に形成されたレジストパターンをマスクとしてエッチング加工を施し、ウエハ上にも同じパターンを形成する(ステップST3)。このウエハ上のパターン位置RWも座標測定器で測定する(ステップST4)。

【0037】

そして、マスクパターン描画時の姿勢と露光時の姿勢での重力変形によるパターン位置の変化をパターン位置伝達関数 F' として求める。このパターン位置伝達関数 F' は、 $RW = F' [RM]$ となる。従って、露光時の姿勢で設計データ通りの位置にマスクパターンが配置されるように伝達関数 F' の逆関数であるパターン位置伝達関数 F を使用する。

【0038】

テスト用マスクのパターン位置RMとウエハ上の転写パターン位置RWが異なる主な原因は、上述した通り、マスクの重力によるグローバルな変形なので、パターン伝達関数 F による補正は個々のマスクパターンに依存せず、したがって、あらゆる生産用マスクに普遍的に適用できる。このようにしてテスト用マスクを用いて求められた伝達関数 F により、オリジナルのマスク設計データ $R0$ は補正マスクデータ $R1$ に変換される(ステップST5)。

【0039】

次に、マスク製造プロセスについて説明する。

マスク製造プロセスにおいては、マスクブランクス上にEB描画機によって補正マスクデータ $R1$ が露光され、続くエッチング工程により、図1に示すようなステンシルパターンあるいは散乱体パターンが形成され、洗浄や検査の工程を経

てマスクが完成する（ステップST6）。

【0040】

完成したマスクに対して、テスト用マスクのパターン位置RMを測定した時と同じ姿勢かつ同じ固定方法で、マスクのパターン位置R2を測定する（ステップST7）。ここで、生産用マスクの場合、パターン伝達関数Fを得るためのテスト用マスクのように、マスク領域全面にパターン位置（IP）測長用のパターンを配置することはできない。

【0041】

生産用マスクに対する測長用パターンの配置例は後述するが、次の4つの方法あるいはそれらの組み合わせが可能である。一つは、図2のような梁構造を有するマスクの場合、梁上に測長用パターンを形成することにより、マスク領域全面にわたり、十分な数の測長用パターンを配置する方法がある。

【0042】

2つめは、フォトマスクの長寸法精度保証方法と同様に、いわゆるスクライプラインと呼ばれている、実際に動作するデバイス領域の周囲にあり、アライメントマーク、製造プロセスモニター用パターン、デバイス特性測定用パターンなどを配置する領域内に測長用パターンを配置する方法がある。この方法は、マスク領域全面に測長用パターンを配置することができないが、マスクのグローバルな変形は位置に対して緩やかに変化する関数なので、スクライプライン上の測長用パターンの位置を低次の関数で補間することで、精度を損なうことなくマスクのパターン位置（IP）精度が分かる。

【0043】

3つめは、デバイス領域中の支障のない位置に測長用パターンを配置する。デバイスの積層構造の中で、当該マスクに対応する層（レイヤー）の前後のレイヤーにもパターンが存在しない領域であれば、原理的には測長用パターンを配置することができる。このような領域は、当該レイヤーおよびその前後のレイヤーに相当する3つのマスクデータに対して、OR演算を施すことによって見出すことができる。

【0044】

4つめは、マスク領域の周囲にマークを配置する。図2(a)に示すように、荷電粒子線により露光される露光領域Aの周辺はメンブレンを支持する基板領域なので、自由に測長用パターンを配置することができる。

【0045】

マスクのパターン位置(IP)の誤差 δR は、実測値 R_2 と補正マスクデータ R_1 との差分により求められ評価される(ステップST8, ST9)。この誤差 δR がマスク製造プロセスに起因する誤差であり、許容値を超えている場合は、マスクを再作製する必要がある。しかしながら、荷電粒子線をもちいたリソグラフィ(EPL、IPL、PELなど)が適用されるであろう世代の半導体デバイスは、回路最小線幅が90nm以下の極めて微細なものになると考えられ、したがって、マスクに要求されるパターン位置(IP)精度も非常に厳しくなる。

【0046】

とりわけPELでは、実際のデバイスと同じサイズのパターンをマスク上に形成しなくてはならない。現在のEB描画機の性能を考慮すると、ITRSロードマップなどに提示されている δR の許容値をそのまま適用すると、マスクの歩留は極端に低くなってしまう恐れがある。

【0047】

本実施形態では、荷電粒子線が電磁場レンズにより極めて高精度に偏向可能であるという、光子をもちいたリソグラフィにはない優れた特徴に注目し、マスク歪(パターン位置誤差 δR)の一部を露光装置の副偏向機能によってその場で補正するので、マスク製造におけるIP誤差 δR の許容値を緩和し、マスクの歩留を大幅に向上させることができる。これによりマスクの価格が低くなり、半導体製造コスト全体の低減につながる。

【0048】

ステップST9において、緩和されたある許容値をクリアしたマスクに対しては、その場補正用のデータ $\Delta 1$ が作成される。メンブレンが上向きの状態で R_2 の位置にあるパターンは、露光姿勢においては位置F[R2]に変位すると考えられるので、 $\Delta 1 = F[R2] - R_0$ が第1の補正データとなる(ステップST10)。

【0049】

製造されたマスクの位置精度を測定し、そのデータを電子光学系にフィードバックすることにより、マスク歪を補正して露光を行う方法は、例えばEPLに限定された形で提案されている (L. E. Ocola et al., J. Vac. Sci. Technol. B 19, 2659 (2001))。しかし、従来の方法においては、パターン位置 (IP) 測長時と露光時におけるマスク姿勢の反転がパターン位置 (IP) におよぼす影響 (図4 (c) 参照) が全く考慮されておらず、いわばR2-R0を補正データとしてもちいている。

【0050】

姿勢の反転は数十nm以上のパターン変位を生じることが指摘されていることから (前出: C.-f. Chen et al., J. Vac. Sci. Technol. B 19, 2646 (2001))、従来技術が正しく機能しないことは明らかである。本実施形態では、パターン伝達関数をあらかじめ算出し、EB描画補正 (図5のR0からR1) だけでなく、マスク製造プロセスにより生じる誤差の補正にも有効に活用している点に特徴がある。また、次に述べるように、マスク形状の個体差に起因する伝達関数の誤差をも補正することができる。これは、これまで全く着目されたことのない点である。

【0051】

パターン位置 (IP) 測定の終了したマスクは露光装置に装着される。露光開始前に、マスクの高さ $W(x, y)$ が位置の関数として測定される (ステップS T11)。ここで (x, y) はマスク平面の座標である。高さ測定は、レーザー干渉計 (A. Ehrmann et al., SPIE 3997, 385 (2000)) や静電容量センサー (M. Oda et al., Jpn. J. Appl. Phys. 34, 6729 (1995)) をもちいて行うことができる。後述する露光装置のマスクステージは極めて高精度なので、例えば、マスクステージを移動させながら、マスクに近接させた静電容量センサーによりセンサーとマスク間の距離を測定すれば、 $W(x, y)$ を正確に得ることができる。

【0052】

なお、上記の測定は必ずしも露光装置内において行う必要はなく、上記の測定手段を有する独立した装置を製作して使用することも可能ではあるが、先に述べ

た通り、露光装置と可能な限り同じマスク固定方法、もしくは、少なくとも同等の平面度を保証する方法を採用しなければならない。

【0053】

マスク表面の形状 W が、伝達関数 F を求めるために利用したテスト用マスクの形状 W_{ref} （これもあらかじめ測定しておく）と同一ならば、第1の補正データ $\Delta 1$ 以外は必要ない。しかし、マスクの形状には一般に個体差が存在する。例えば、図1（a）のステンスルマスクはSOIウエハから作製されている。SOIウエハは、埋め込み酸化膜であるエッチングストップ膜の数百MPaもの強い圧縮応力により、数十 μm も反っている場合があり、しかもその反り量はウエハごとに異なっている。

【0054】

従って、図5に示すように、マスク形状の個体差に起因するパターン位置（IP）誤差を第2の補正データ $\Delta 2$ として算出する（ステップST12）。高さの変動から第2の補正データ $\Delta 2$ を作成する方法は2つある。以下に、第2の補正データ $\Delta 2$ を作成する方法について説明する。

【0055】

一つめは、図4（c）からも示唆されるように、パターンの変位はマスク面の局所的な勾配と関連付けられる。材料力学の文献（例えば、S. P. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, "Theory of Plates and Shells."）によると、平板の微小たわみに対しては次の関係が成立する

【0056】

【数1】

$$\begin{aligned} u &= -\frac{h}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ v &= -\frac{h}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad \dots (1)$$

【0057】

上記式（1）において、 u と v はそれぞれ x 方向と y 方向の変位であり、 h は

平板の厚みである。図2のような梁構造を有するマスクは、厳密な平板とは言えないが、上記の関係は近似的に成り立っていると考えられる。したがって、上記式(1)の W を $(W - W_{ref})$ に置き換えることにより、個々のマスクの露光時における曲面形状に起因するパターン位置(IP)誤差の補正データ $\Delta 2$ が得られる。

【0058】

二つめの第2の補正データ $\Delta 2$ の作成方法について説明する。

すなわち、図6(a)～図6(b)に示す工程を複数のテスト用マスクに行い、テスト用マスクの設計データに対するウェハに転写されたパターンRWの変位(第2の補正データ $\Delta 2$ に相当)と、図6(b)に示す工程において測定されたテスト用マスクの曲面形状 W_{ref} との関係を求めておく。

【0059】

そして、複数の曲面形状 W_{ref} に対してそれぞれ複数の第2の補正データを用意しておき、データベース化しておく。

これにより、生産用マスクの曲面形状 W を測定した後に、作成されたデータベースから、最も曲面形状の近いテスト用マスクについて求められた第2の補正データ $\Delta 2$ を読み出して利用する。

【0060】

以上のようにして、露光時偏向補正用のデータを作成することができる。

ここで、このような露光時偏向補正用のデータは、フォトリソグラフィにおけるいわゆる「条件出し露光」のように、合わせ精度測定用副尺マークを配置したウェハにテスト露光を行い、マスクからレジストに転写された合わせ精度測定用主尺マークとウェハ上の副尺マークとの相対位置測定(合わせ精度測定)の結果からも間接的に知ることができる(ウェハ上の副尺マークを基準とした相対的なマスク歪しか分からないが)。しかし、このような条件出し作業は、露光工程のスループットを低下させ、デバイス製造工程全体のコストを増加させてしまうので、一般的に好ましくない。

【0061】

本実施形態では、マスク製造プロセスで長寸法精度保証のために通常行われて

いるパターン位置（IP）測長データ、および露光装置内で行われるマスク高さ測定データから、テスト露光を行うことなく迅速に補正データを作成することができる。

【0062】

以上のようにして作成した第1および第2の補正データ $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ （露光時偏向補正データ）を荷電粒子露光装置の記憶部に保存しておく。

そして、図7に示すように、荷電粒子光学系の主偏向レンズにより、荷電粒子線BをマスクM上で走査させる時に、露光時偏向補正データに従って副偏向レンズにより荷電粒子線Bの進行方向を僅かに変化させることにより、マスク歪により正確な位置から変位しているパターンを、ウエハ40上の正しい位置に転写する（ステップST13）。なお、露光時偏向補正データを別の記憶装置に保存しておき、露光時に当該記憶装置からオンラインでダウンロードして使用してもよい。

これにより、半導体デバイスの微細化と共に厳しくなる一方のマスクに要求されるパターン位置（IP）精度をある程度緩和でき、マスクコストの削減と製造時間短縮が実現される。

【0063】

次に、上記の露光時偏向補正用データに基づいて、ウエハに対し露光を行う露光装置の構成の一例について説明する。等倍ステンスルマスクをもちいるという点で、PELマスクに求められるパターン位置（IP）精度は、EPLマスクやIPLマスクのそれよりも厳しいと言える。そこで、ここでは本発明のPELへの適用例を説明する。

【0064】

図8は、低加速電圧電子ビーム等倍近接露光装置の電子光学系の概要を示す図である。上記の露光装置は、文献（T. Utsumi, U. S. Patent No. 5831272（3 November 1998））に記載されている。

【0065】

図8に示す露光装置100は、電子ビーム102を出射する電子銃103、電子ビーム102を平行化するコンデンサレンズ104、電子ビーム102を制限

するアパーチャ105、電子ビーム102が平行なままでラスターまたはベクトル走査モードの何れかで且つステンシルマスクSMに垂直に入射するように偏向させる目的を持つ一対の主偏向器106, 107とを有し、さらには、微調を行う目的を持つ一対の微調整用偏向器108, 109と、装置全体の動作を制御する制御部110とを有する。

【0066】

図8に示す露光装置においては、低加速電子が用いられるため、図1(a)に示すステンシルマスクSMが用いられる。図8において、ステンシルマスクSTの孔を透過した電子ビーム102により、ウエハWa上のレジストRが露光される。図8に示す露光装置では、等倍露光を採用しており、ステンシルマスクSSMとウエハWaは近接して配置される。ステンシルマスクSMとウエハWaの間に縮小投影光学系が存在しないので、比較的シンプルな構造をしている。

【0067】

制御部110は、主偏向器106, 107を制御して電子ビーム102をステンシルマスクSM上で走査させ、マスクパターンをウエハ40に転写する。この露光時において、露光時偏向補正用データを読み込み、微調整用偏向器108, 109を制御して電子ビーム102の方向を僅かに変化させることにより、マスク歪により正確な位置から変位しているパターンを、ウエハWa上の正しい位置に転写する。上記の制御は、予めパターン位置の誤差を示す種々の露光時偏向補正用データと、ウエハWa上の正しい位置に転写するための印加電圧等の条件との相関関係を求めておけばよい。

【0068】

なお、図示はしないが、ウエハステージとマスクステージとが近接しているので、マスクステージの駆動機構を利用して、ウエハステージ上に設置した静電容量センサー上でマスクを走査することによって、テストマスクの形状を計測することが可能である。

【0069】

図9(a)は、図8に示す露光装置に使用されるステンシルマスクの平面図である。

図9 (a) に示すステンシルマスクは、外径4インチのSOIウエハから製作され、その中心40mm角に露光領域A ($L=20\text{mm}$) が形成されている。SOI層を利用したメンブレンの厚さは600nm、裏面エッチングの阻止層であるエッチングストッパ膜の厚さは400nmである。

【0070】

図9 (b) に、図9 (a) の露光領域Aの拡大図の一例を示す。

図9 (b) において、メンブレンサイズ $d_1=1050\mu\text{m}$ 、梁の幅 $d_2=200\mu\text{m}$ である。図9に示すように、露光領域AがA1からA4の4つの領域に分割され、相補分割されたマスクパターンがこれら4つの領域に適切に分配、配置される (I. Ashida, S. Omori and H. Ohnuma, Proc. SPIE 4754, 847 (2002))。

【0071】

図10 (a) に、上記のステンシルマスクの中心40mm角の重力による変形を示す。図10 (a) に示すように、ステンシルマスク中において約 $1.5\mu\text{m}$ の高低差が存在し、それによって引き起こされるパターン変位は最大で44nmであった。ただし、図10 (b) に示すように、マスクのグローバルな変形で引き起こされる変位は位置の緩やかな関数であり、上述したように伝達関数Fによって補正することが可能である。

【0072】

図11 (a) に示すようにチップChの周囲にスクライプラインSLが配置され、図11 (b) に示すようにマスクに対してチップChが相当するとする。

この場合に、図9に示したマスクの一つの領域A1～A4において梁が形成された箇所には他の領域A1～A4のパターン形成領域が位置することから、チップ周辺に設定されるスクライプラインSLに、パターン位置(IP)精度測定用パターンを配置することができる。これは補正精度の向上に寄与する。なお、パターン形成領域とは、メンブレンの領域のうち、梁が形成されていない領域と定義する。

【0073】

補正マスクデータR1により製造されたマスクは、図5に示したように、パタ

ーン位置（IP）測定が行われ、長寸法精度の合否判定が成される。合格したマスクに対しては、第1の補正データ $\Delta 1$ が算出される。次にマスクが図8に示す露光装置に装着され、テスト用マスクと同様に静電容量センサーによる高さ測定が行われる。上述したように、テスト用マスクと当該マスクの形状の差異を第2の補正データ $\Delta 2$ に変換してもよいし、パターン位置（IP）誤差とマスク形状の関係を記録したデータベースをもちいてもよい。最終的には、2つの補正データの和をもちいて、図8に示す露光装置により露光を行う。

【0074】

以上の本実施形態の効果を図12および図13を参照して説明する。

図12（a）に示すような補正が必要ない理想的なデータの場合には、主偏向器106，107により電子ビーム102がウエハに対して垂直に走査される。これに対し、図5のフローで得られた露光時偏向補正データが図12（b）に示すようなデータの場合に、本実施形態では、さらに微調整用偏向器108，109によりウエハに対して当該補正データに基づいて角度がつけられて、ウエハに対して電子ビーム102が照射される。

【0075】

上記の露光時偏向補正データをもちいた露光の効果を図13に示す。

図13（a）に示すように、マスクパターンMPが理想的な格子Eから歪んでいても、図13（b）に示すように露光時の偏向によって、ウエハ上では精度の高い格子に修正されて転写される。

【0076】

以上説明した本実施形態に係る露光方法および半導体装置の製造方法の効果を以下にまとめる。

まず、伝達関数によるパターン位置補正により、マスクの位置精度が向上し、デバイスの歩留が増加する。

そして、マスク製造の位置精度に対する要求を緩和することができ、マスク歩留が向上する。これにより、マスク価格を下げることができる。

露光装置におけるマスクの高さ測定により、マスク基板の個体差に起因する誤差を補正できるので、基板の平面度に対する仕様を緩和でき、マスク価格を下げ

ることができる。

露光時において荷電粒子ビームの照射角度を露光時偏向補正データに基づいて変化させてウエハに荷電粒子ビームを照射することにより、ウエハ上に転写されたパターンの位置精度が向上し、デバイスの歩留が増加する。

【0077】

本発明は、上記の実施形態の説明に限定されない。

例えば、図5のフローはEPLやIPLマスクに対してもそのまま適用可能である。EPLやIPLにおいては、マスクとウエハ間は近接していないので、マスクの高さ測定には、図8に示す露光装置とは異なる機構が必要である。また、パターン位置（IP）誤差の補正データが同じでも、電子／イオン光学系がことなるので、露光時偏向補正のための装置制御方法は異なる。

その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の変更が可能である。

【0078】

【発明の効果】

本発明によれば、マスクパターンの電子線描画データの補正だけでは低減できないパターン位置誤差を露光時において補正することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本実施形態に係る露光方法の適用対象となるマスクの断面図であり、（a）はステンシルマスクの断面図、（b）は散乱メンブレンマスクの断面図である。

【図2】

本実施形態に係る露光方法の適用対象となるマスクの詳細な構造の一例を示す図であり、（a）は平面図、（b）は斜視図である。

【図3】

EB描画機によるパターン位置精度評価結果を示す図であり、（a）は理想的なパターン、（b）は実際に描画されたパターン、（c）は座標測定器による測定データである。

【図4】

（a）はマスク製造プロセスにおけるマスクの姿勢を示す図であり、（b）は

露光時のマスクの姿勢を示す図であり、(c)はマスクのたわみによりパターンが変位するメカニズムを説明するための図である。

【図 5】

本実施形態に係る露光方法のフロー図である。

【図 6】

テスト用マスクによりパターン伝達関数を求める工程を説明するための図である。

【図 7】

露光装置により荷電粒子ビームを偏向させる様子を示す図である。

【図 8】

本実施形態に係る露光方法を実施する露光装置の一例を示す構成図である。

【図 9】

(a)は図8の露光装置に使用されるマスクの詳細な一例を示す平面図であり、(b)は露光領域の拡大図である。

【図 10】

(a)はステンシルマスクの重力による変形を示す図であり、(b)は変形によるパターン変位量を示す図である。

【図 11】

ステンシルマスクの測長用パターンの配置可能領域を説明するための図である。

【図 12】

露光時偏向補正データを示す図であり、(a)は理想的な偏向データを示し、(b)は実際の偏向データを示す。

【図 13】

本実施形態に係る露光方法の効果を説明するための図である。

【符号の説明】

10…シリコン基板、11…エッチングストッパ膜、12…メンブレン、12a…ステンシルパターン、13…梁、20…シリコン基板、21…メンブレン、22…梁、23…散乱体パターン、23a…クロム膜、23b…タンゲステン膜

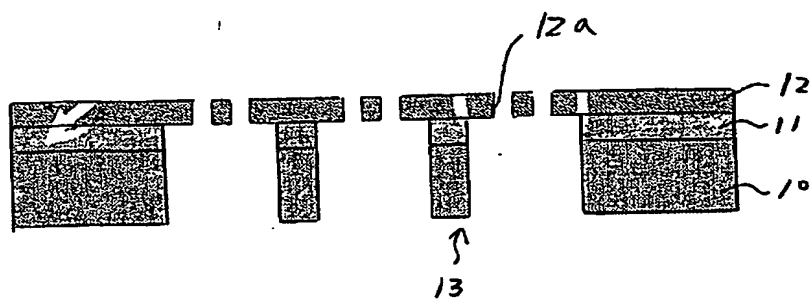
、30, 31…保持手段、40…ウエハ、100…露光装置、102…電子ビーム、103…電子銃、104…コンデンサレンズ、105…アパーチャ、106, 107…主偏向器、108, 109…微調整用偏向器、110…制御部、TM…テスト用マスク、B…荷電粒子ビーム、Ch…チップ、SL…スクライブライン。

【書類名】

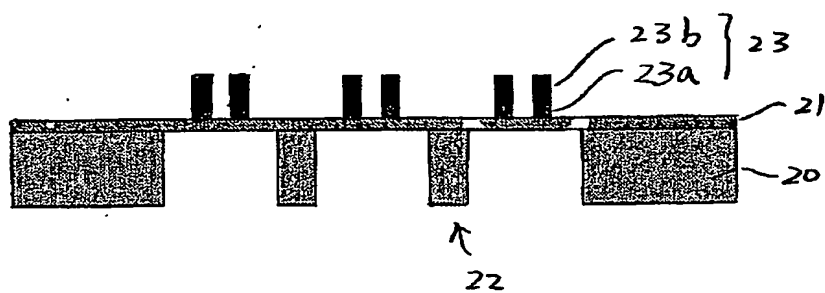
図面

【図1】

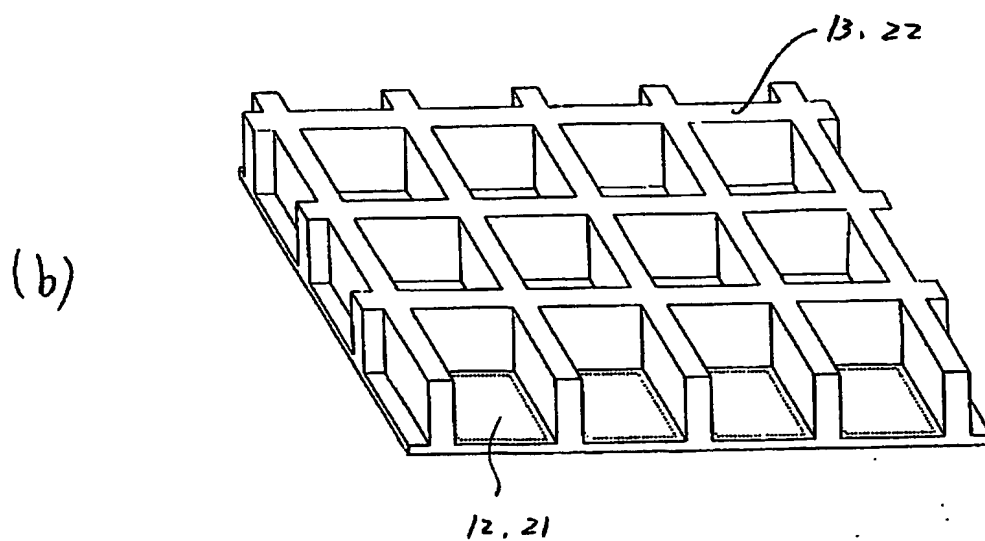
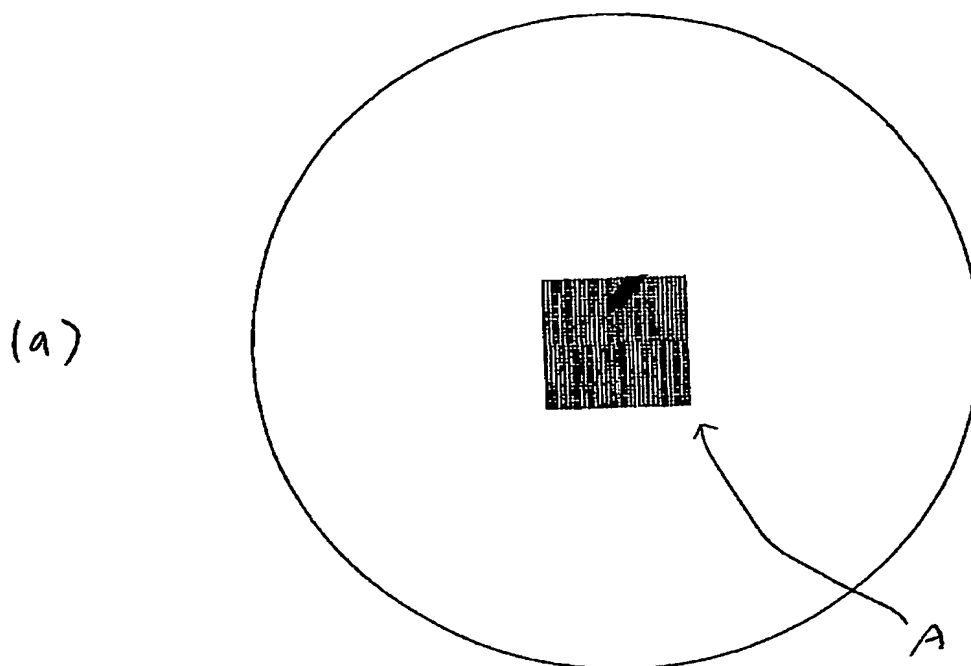
(a)



(b)

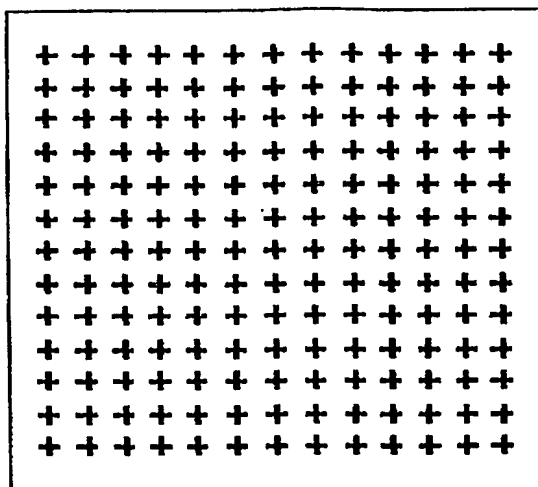


【図2】

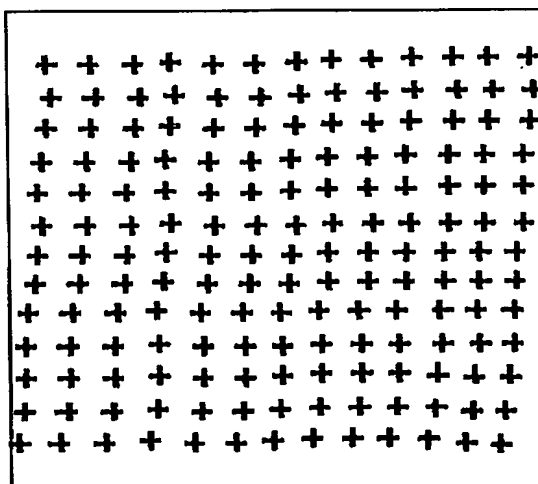


【図3】

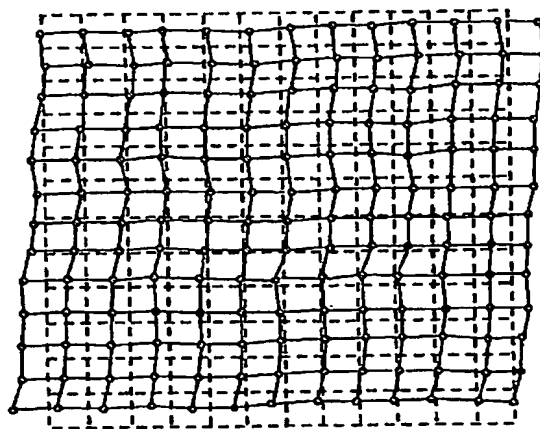
(a)



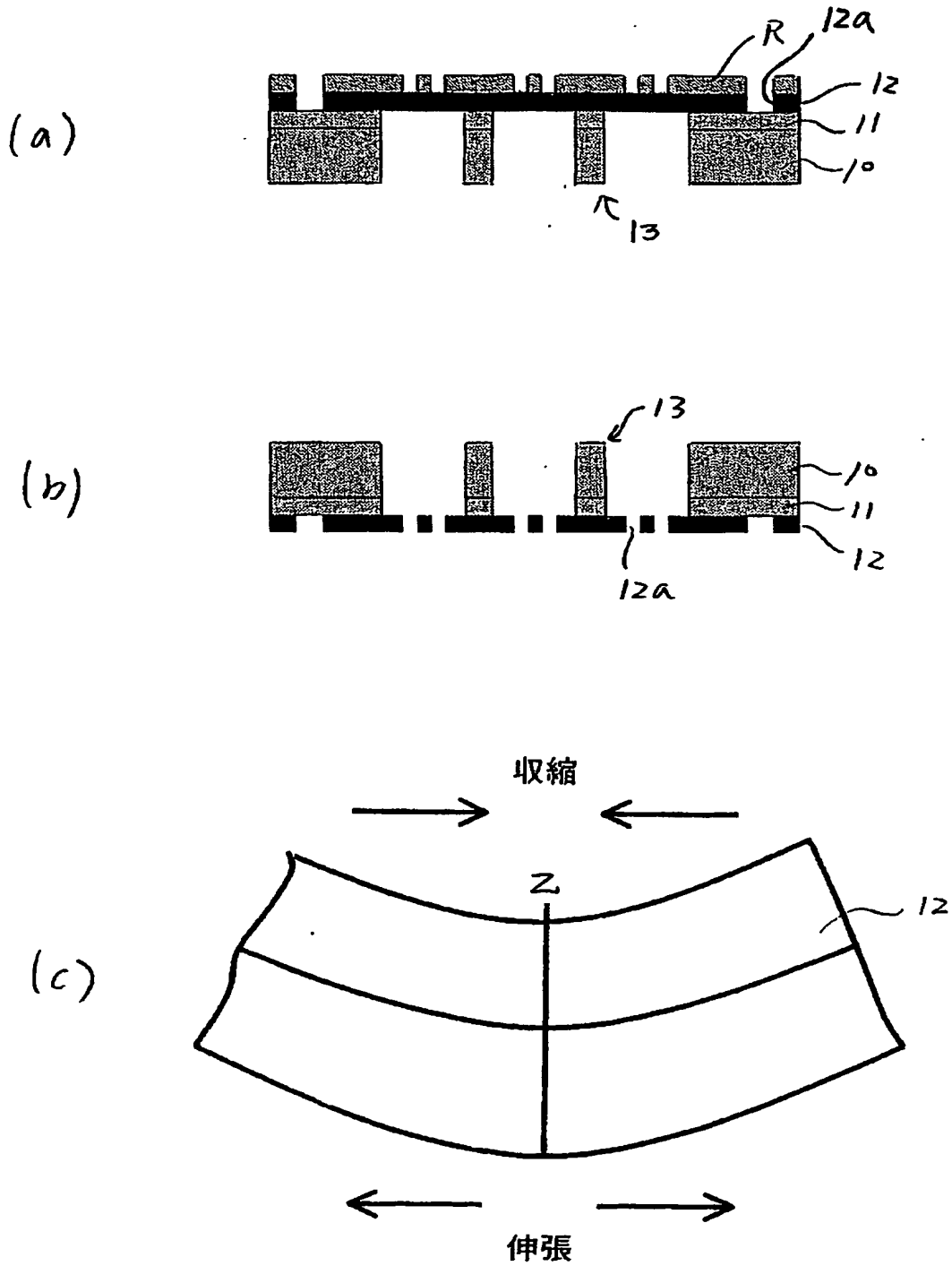
(b)



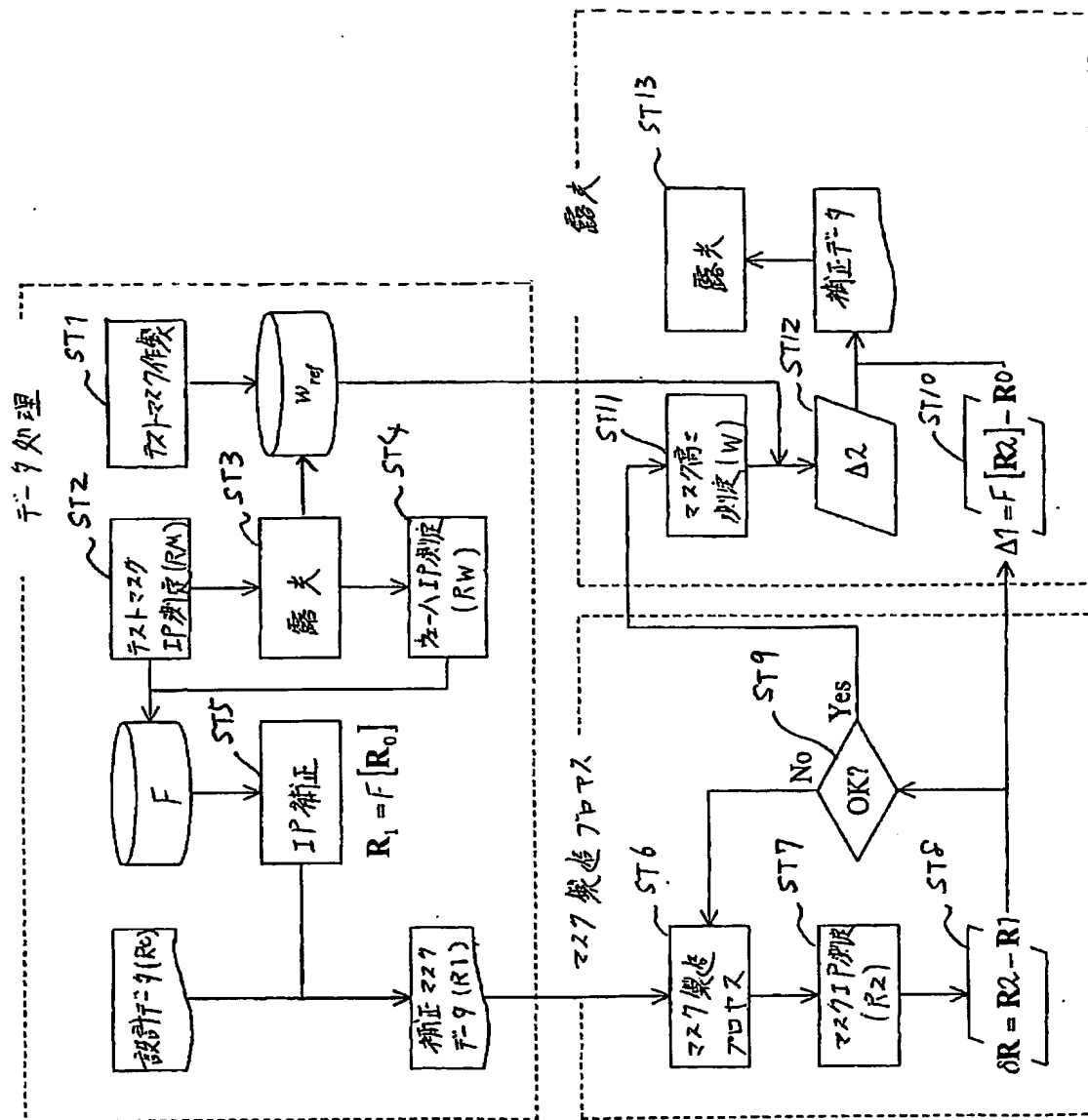
(c)



【図4】

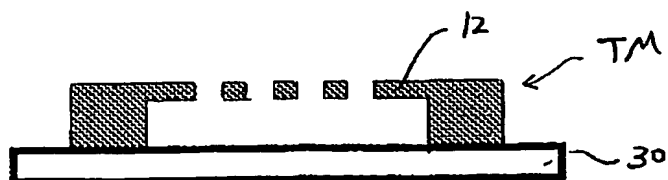


【図5】

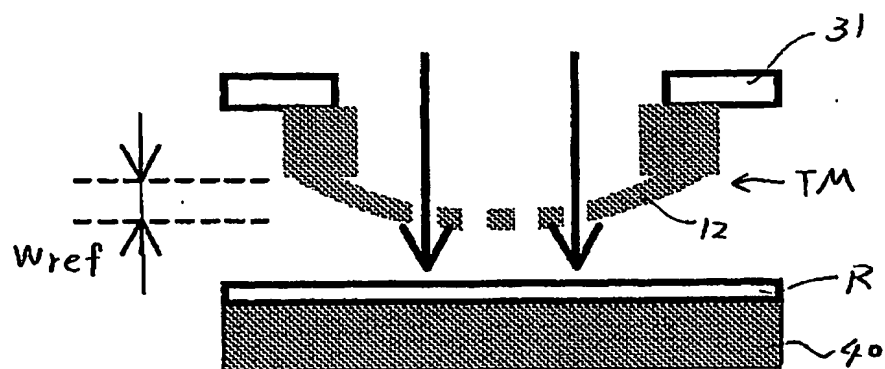


【図6】

(a)



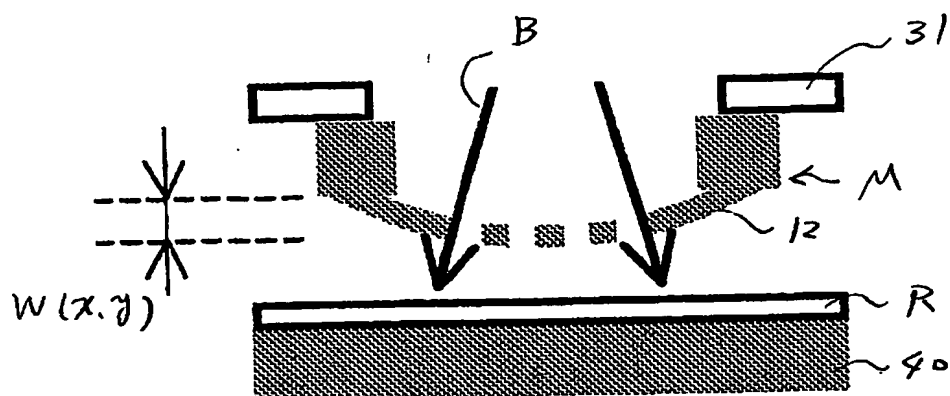
(b)



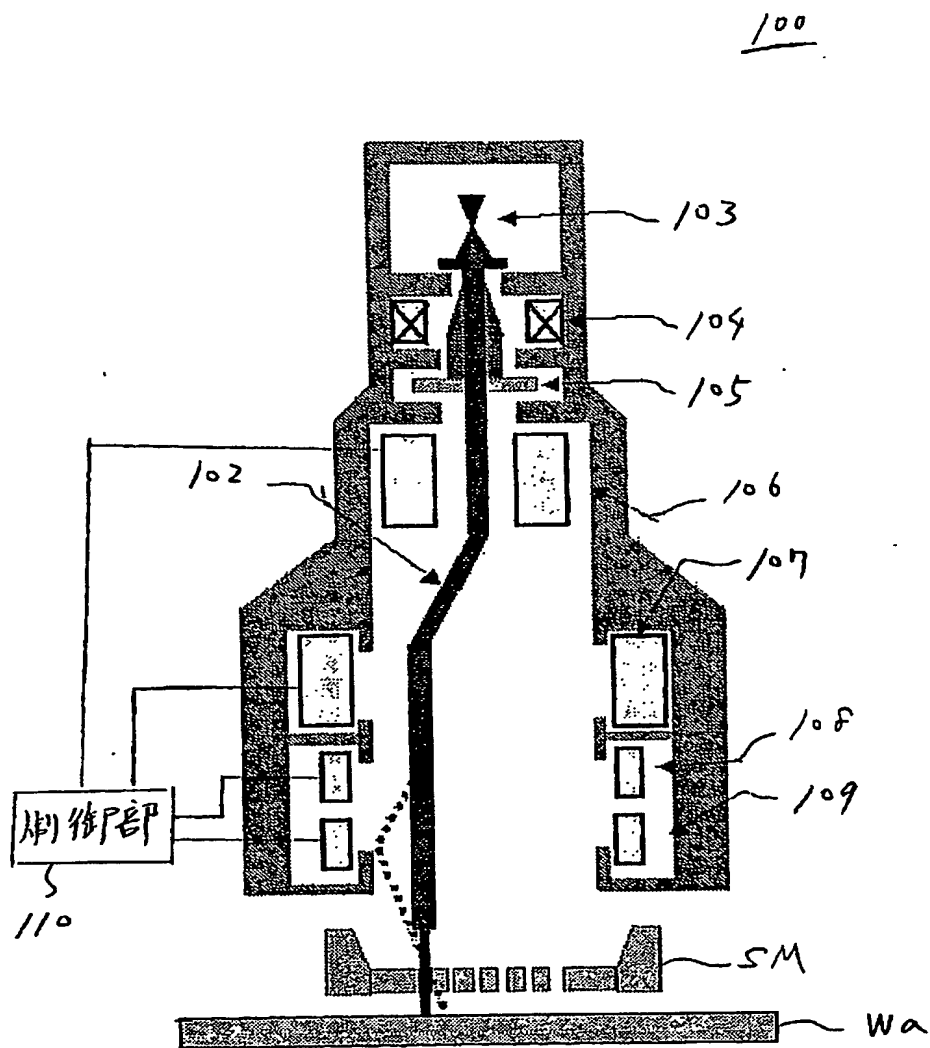
(c)



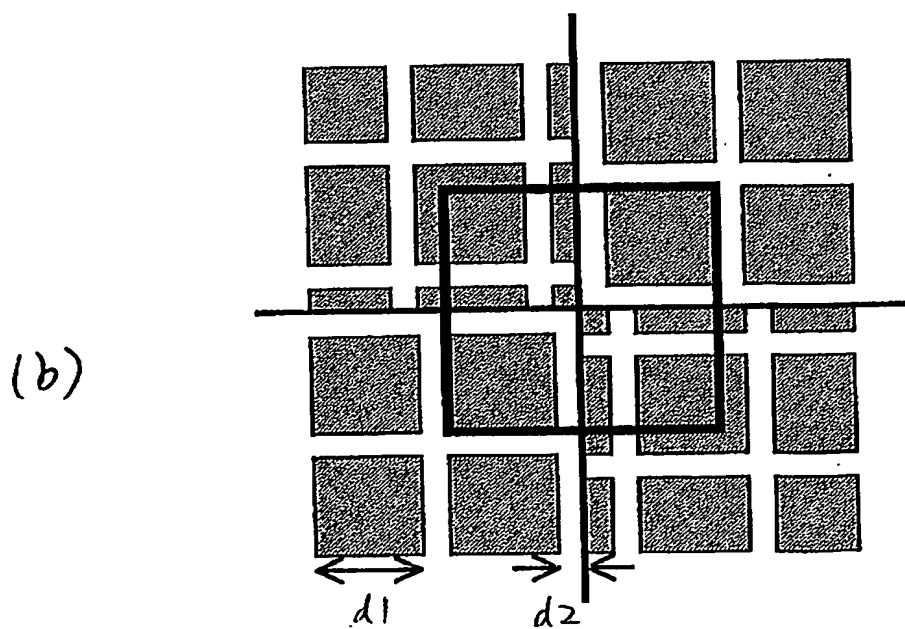
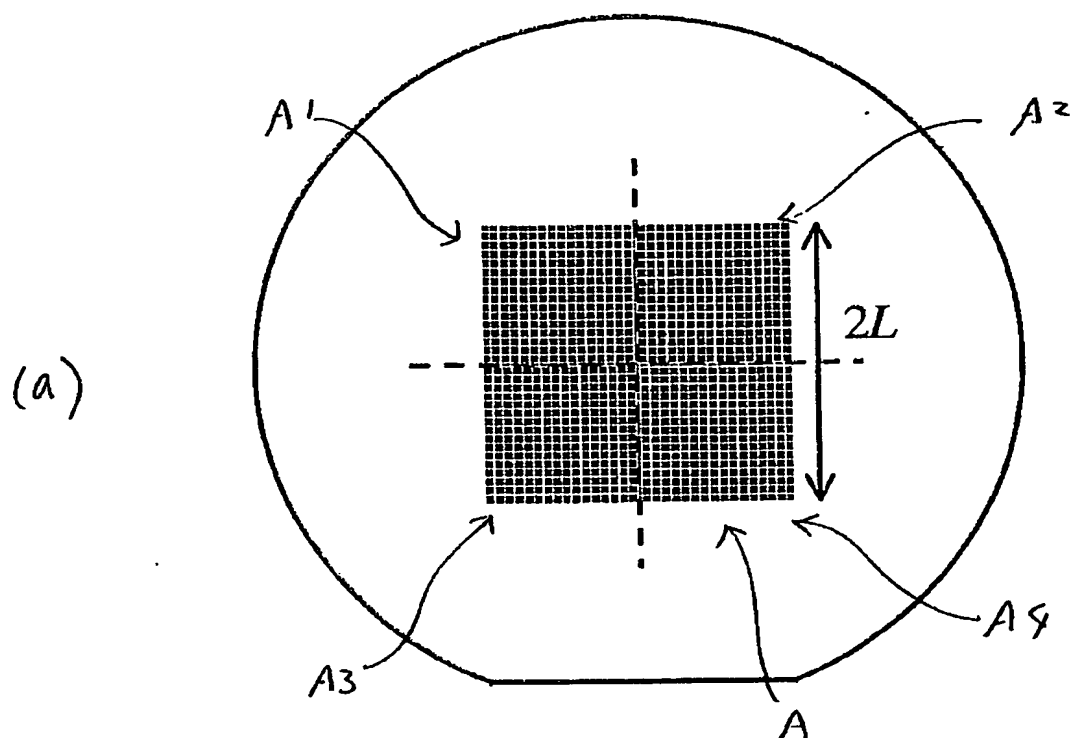
【図7】



【図8】

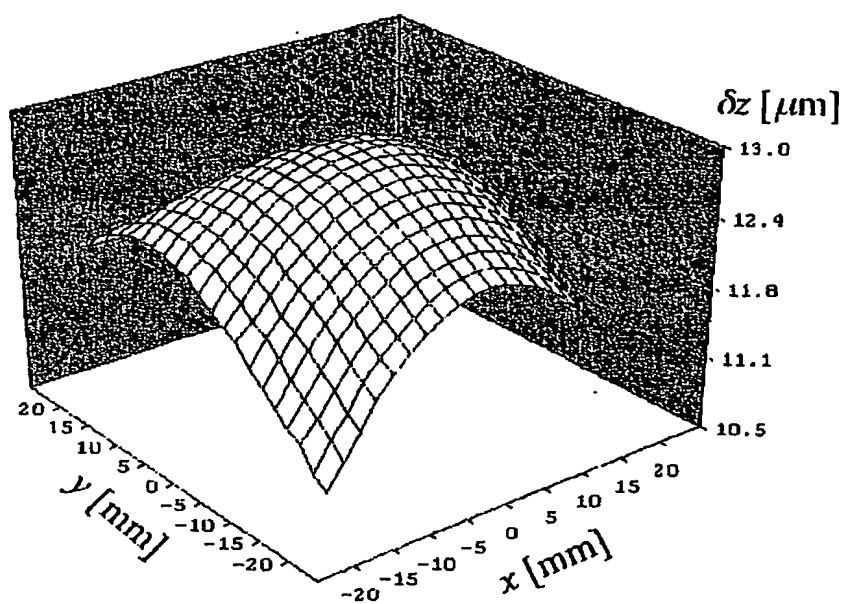


【図9】

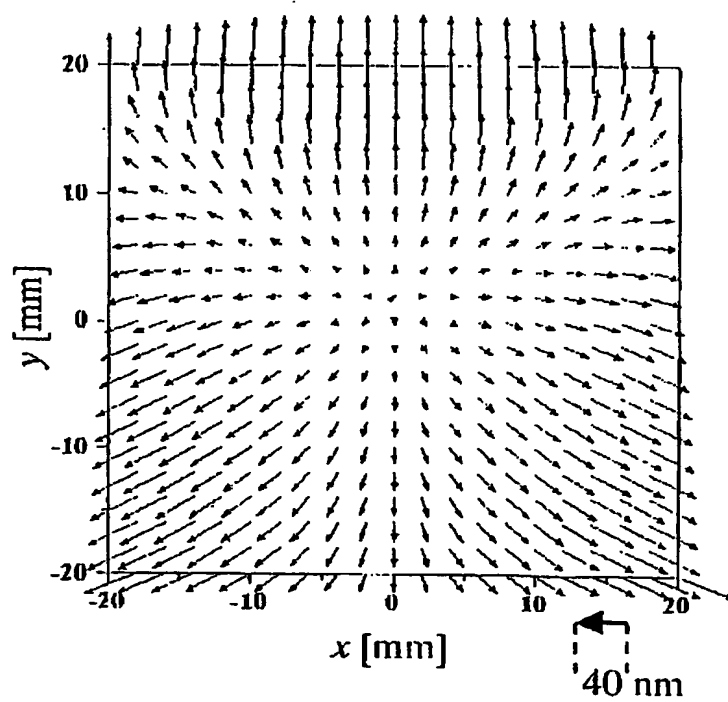


【図10】

(a)

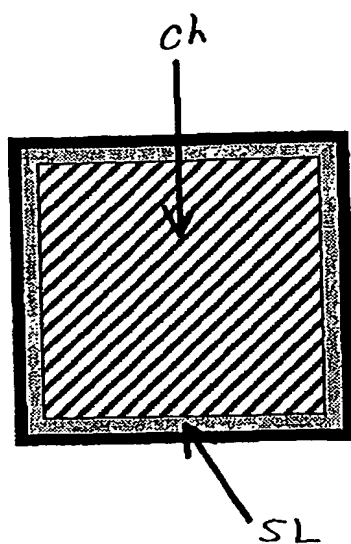


(b)

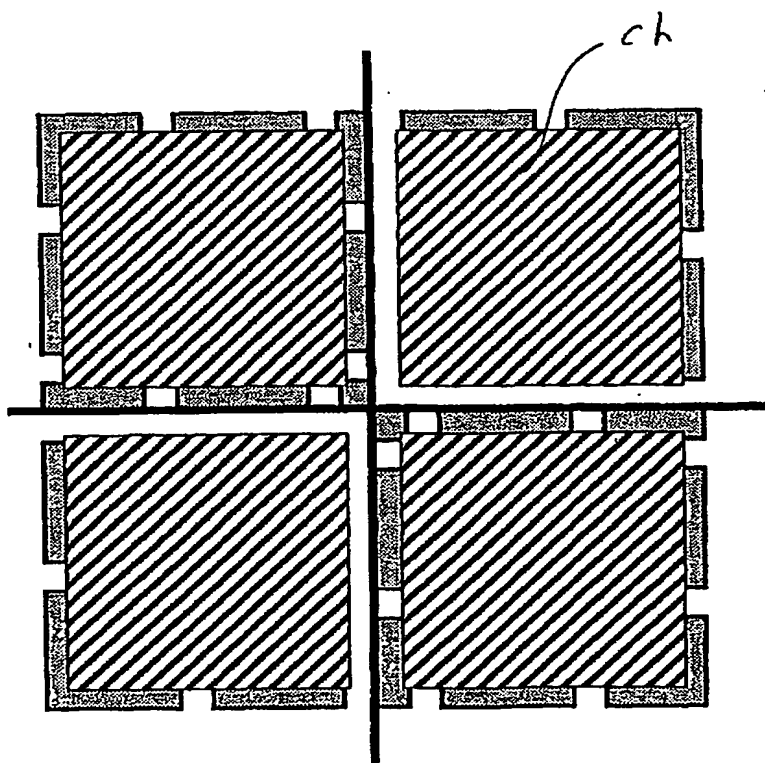


【図11】

(a)

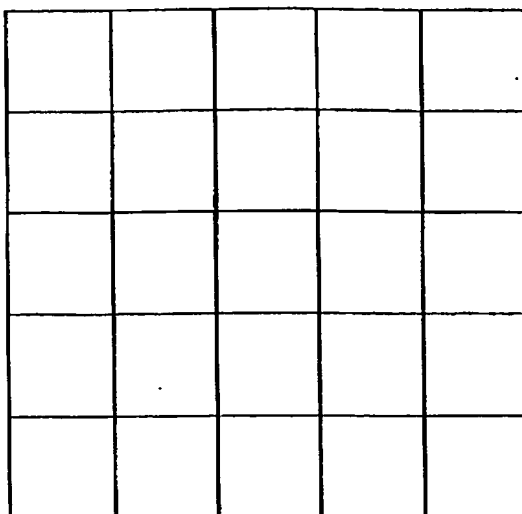


(b)

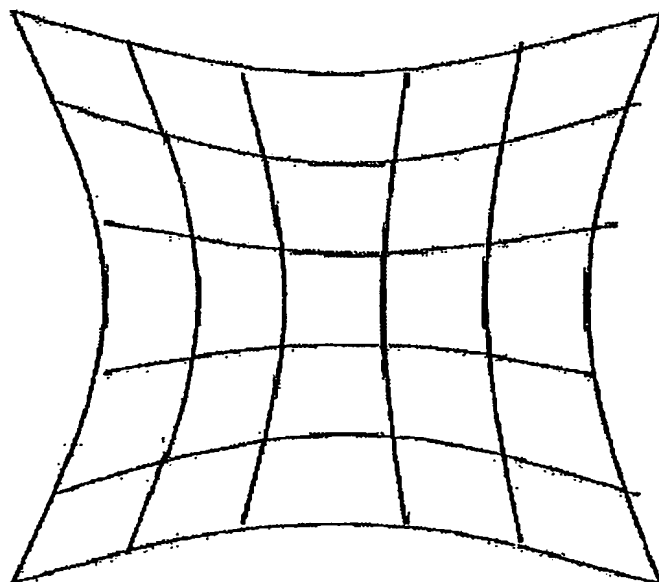


【図12】

(a)

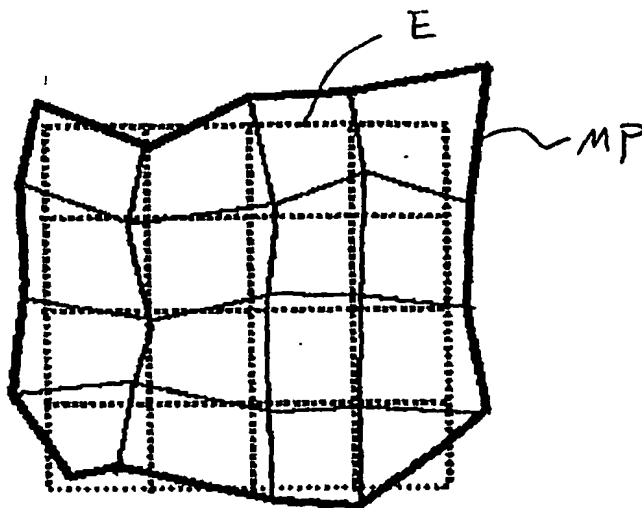


(b)

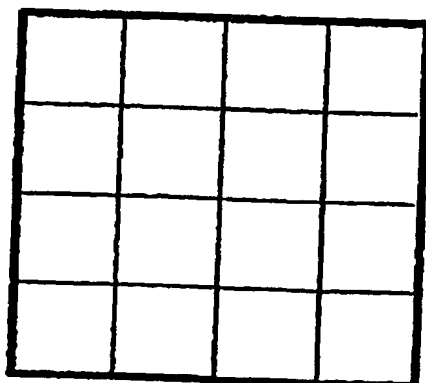


【図 13】

(a)



(b)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 マスクパターンの電子線描画データの補正だけでは低減できないパターン位置誤差を露光時において補正することができる露光方法および半導体装置の製造方法を提供する。

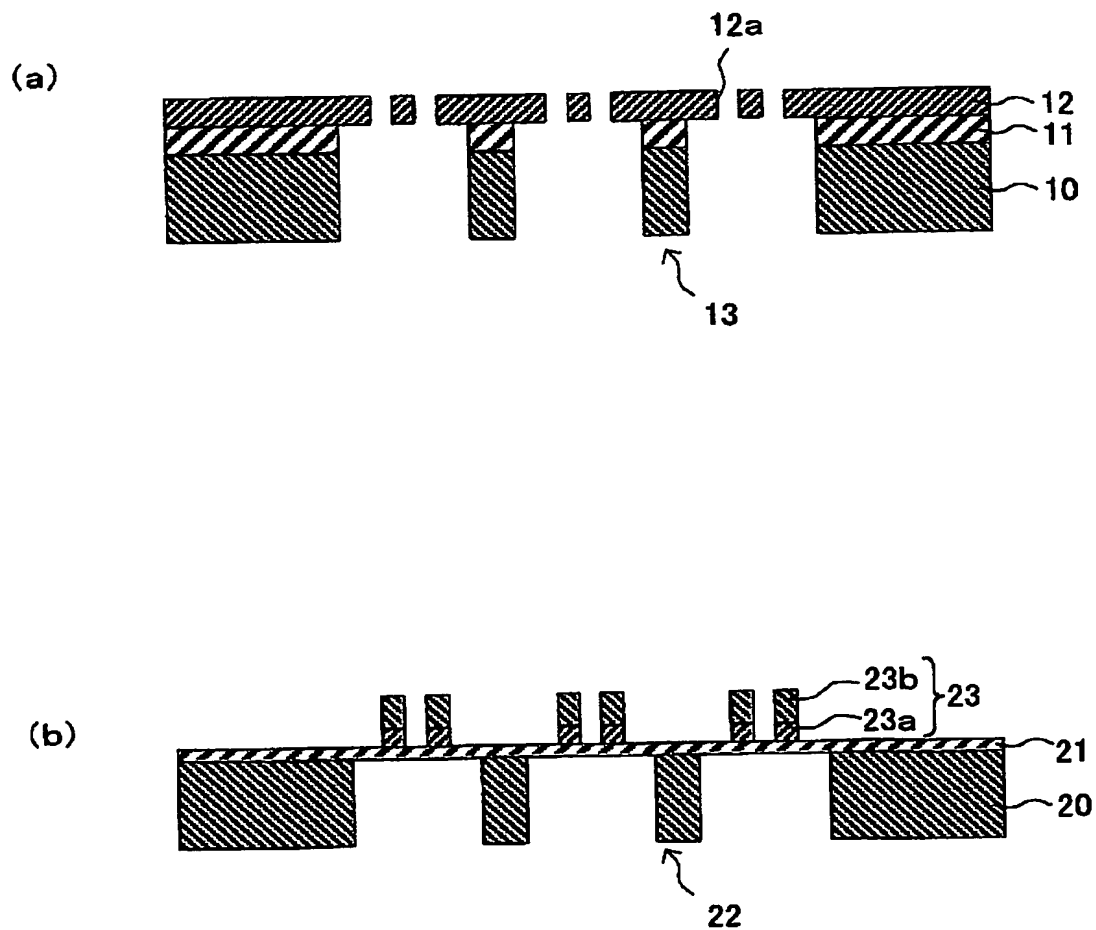
【解決手段】 露光時に対し反転した姿勢でマスクのパターン位置 R_2 を計測し（ステップST7）、計測されたパターン位置 R_2 に対し露光時の姿勢における重力によるパターン変位を考慮した補正を行い、補正された補正パターン位置の設計データからの差に基づいて第1の補正データ $\Delta 1$ を作成し（ステップST10）、第1の補正データ $\Delta 1$ に基づいて、荷電粒子ビームを偏向させて被露光体に露光されるパターンの位置を補正して露光を行う（ステップST13）。

【選択図】 図5

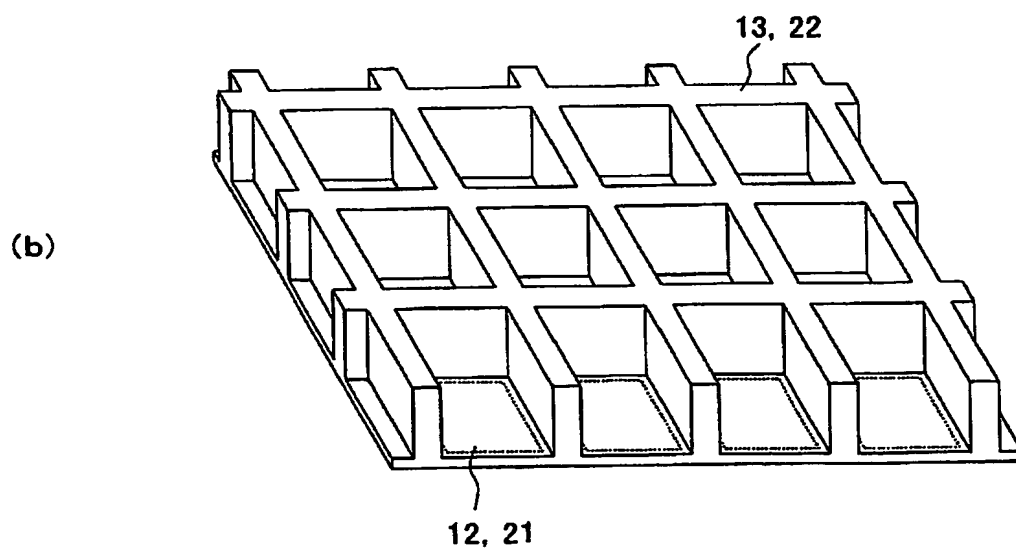
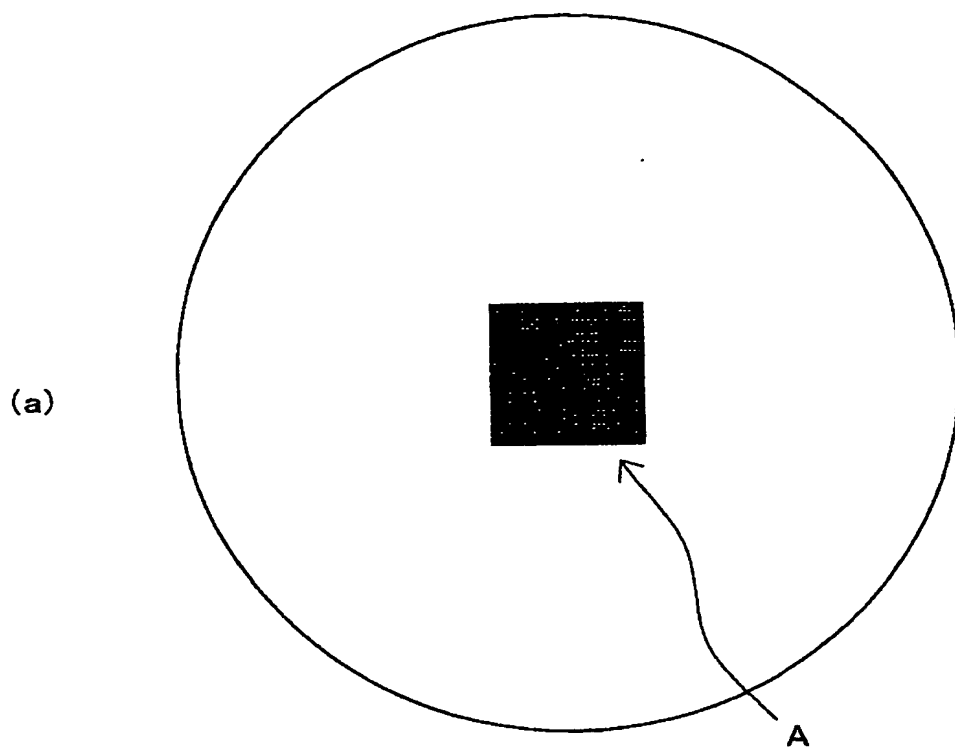
【書類名】 手続補正書
【提出日】 平成14年11月18日
【あて先】 特許庁長官殿
【事件の表示】
 【出願番号】 特願2002-331090
【補正をする者】
 【識別番号】 000002185
 【氏名又は名称】 ソニー株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100094053
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 佐藤 隆久
【手続補正 1】
 【補正対象書類名】 図面
 【補正対象項目名】 全図
 【補正方法】 変更
 【補正の内容】 1
【その他】 図面の実体的内容については変更なし。
【プルーフの要否】 要

【書類名】 図面

【図 1】

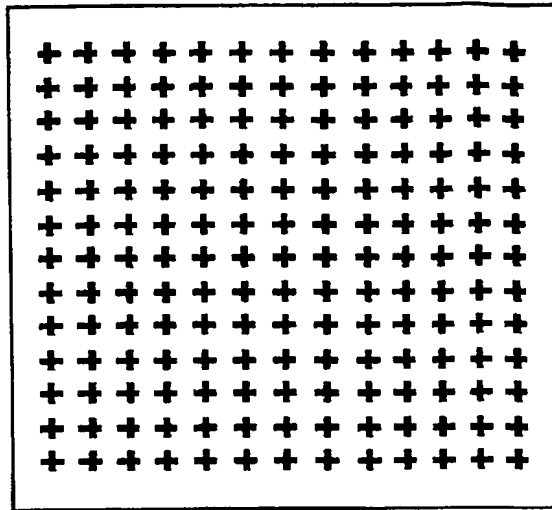


【図 2】

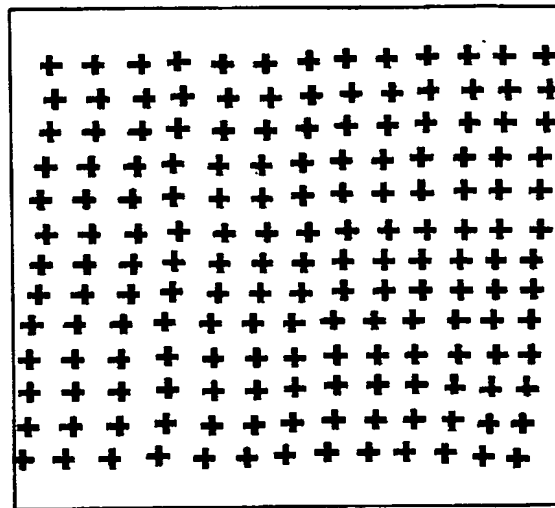


【図3】

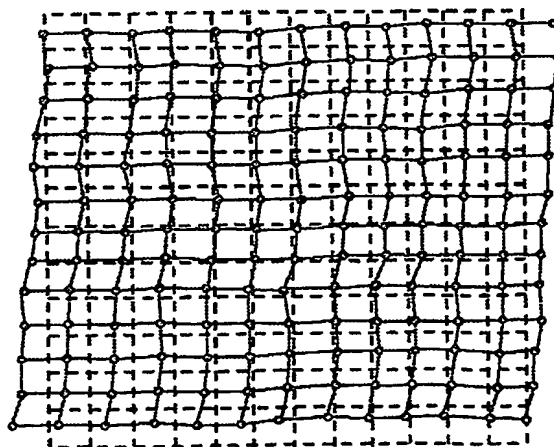
(a)



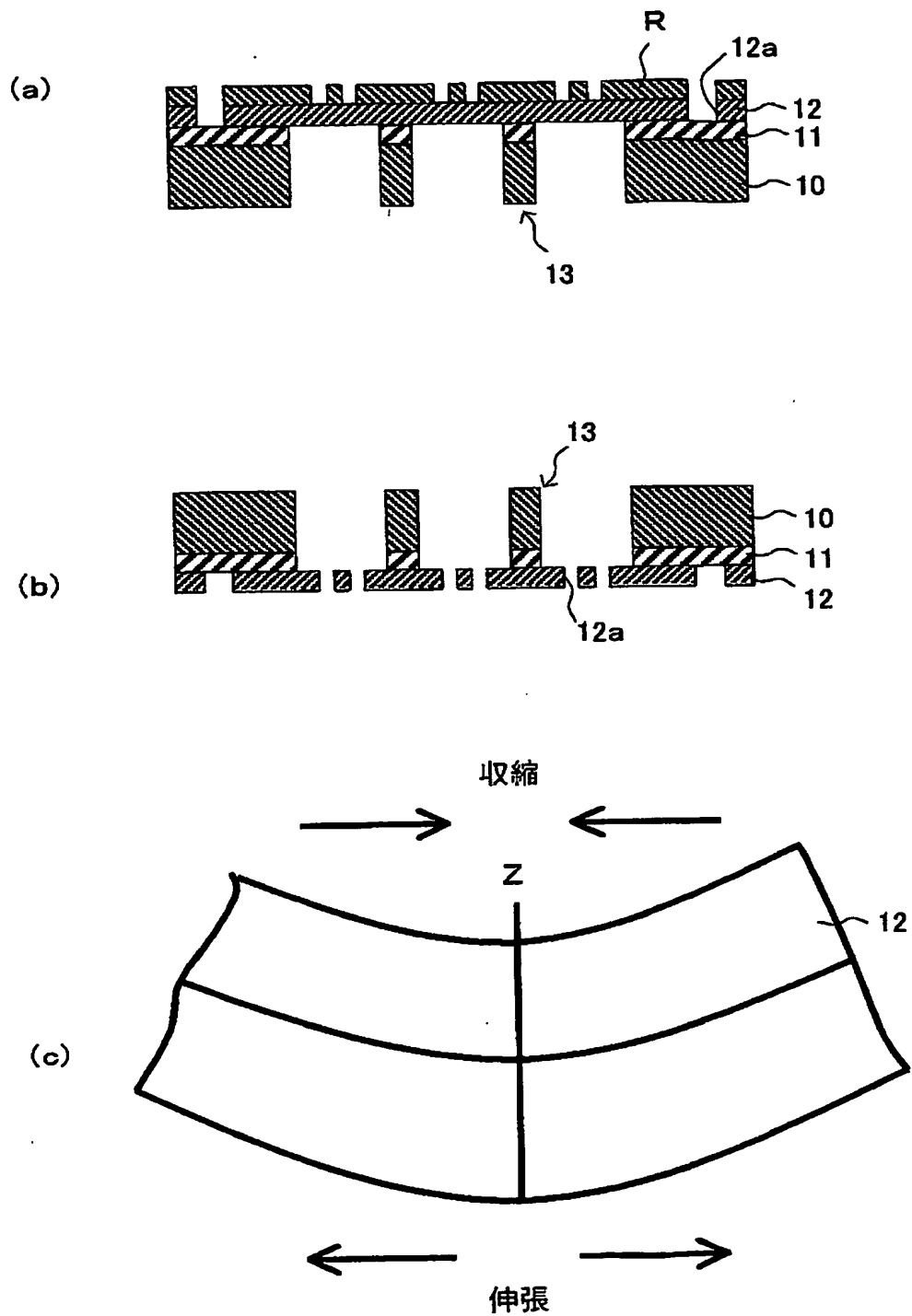
(b)



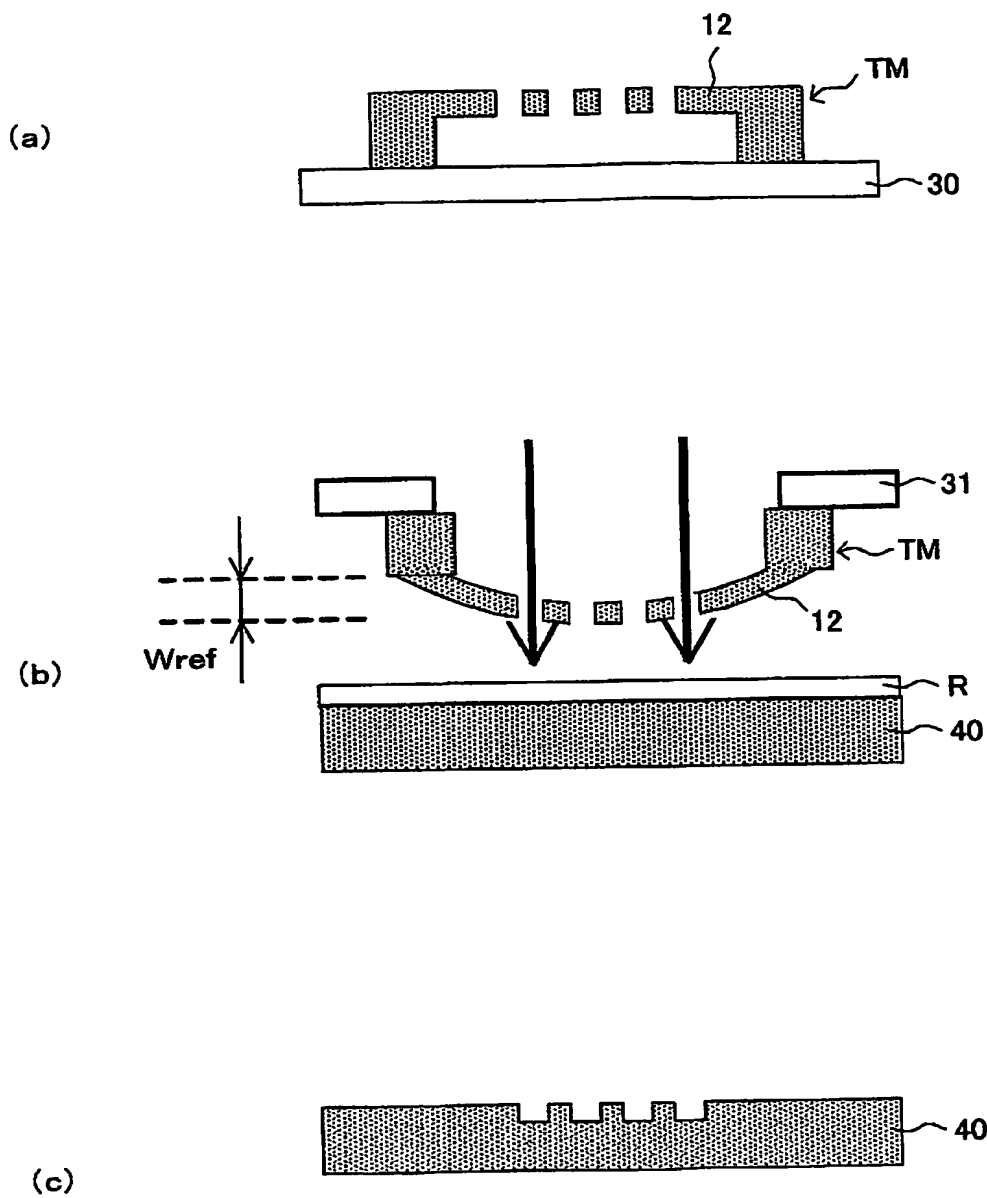
(c)



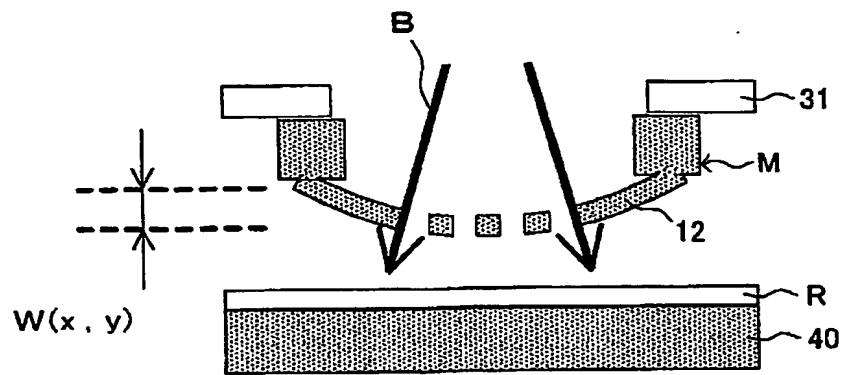
【図4】



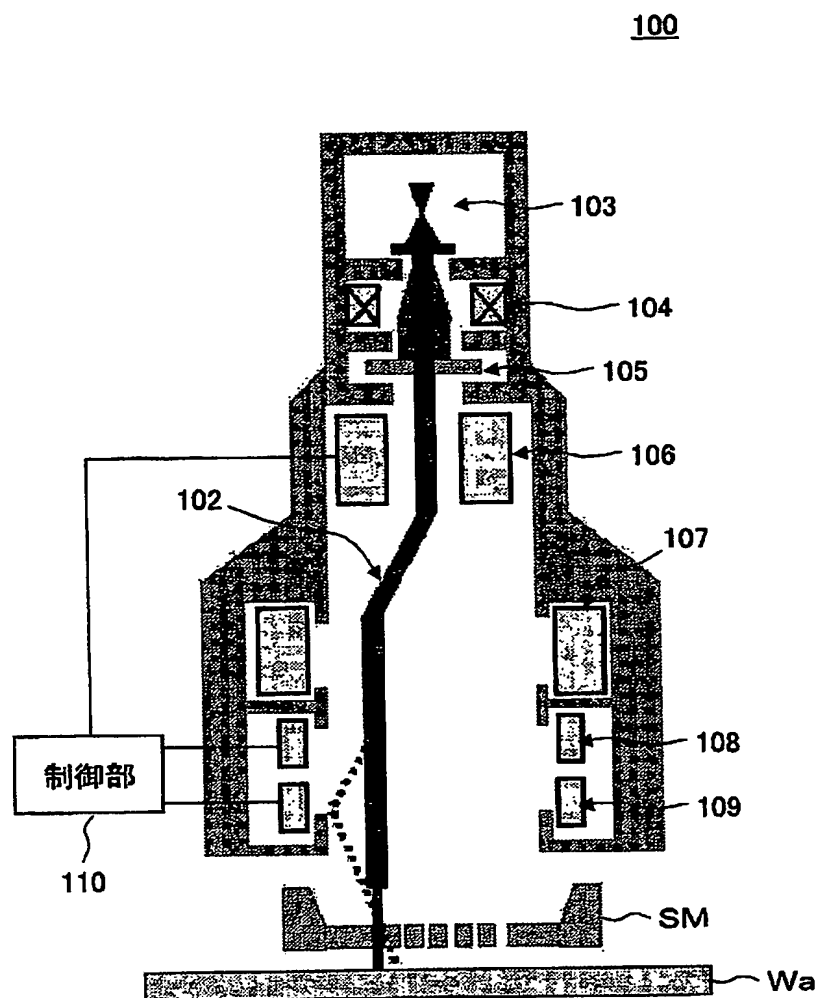
【図 6】



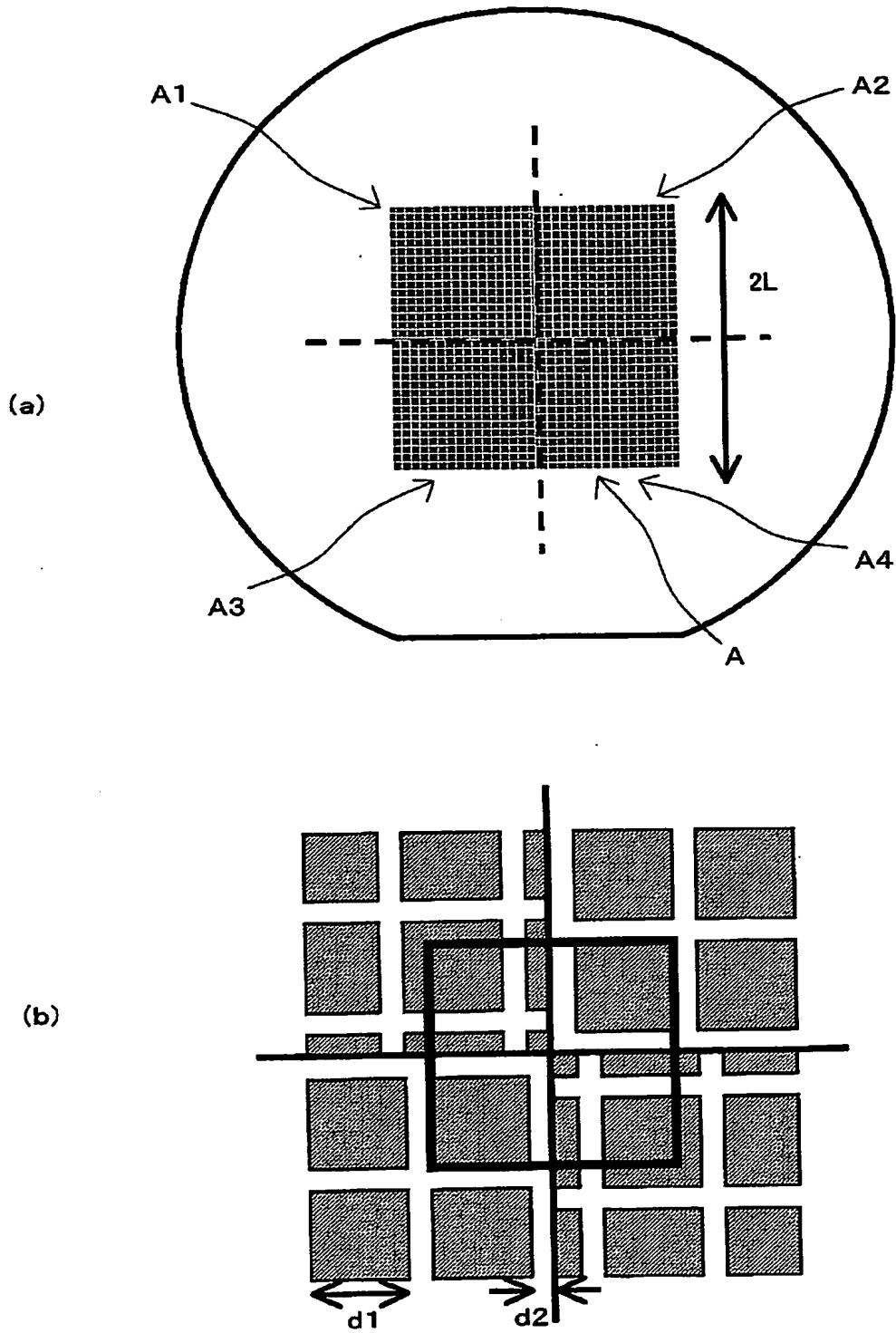
【図7】



【図8】

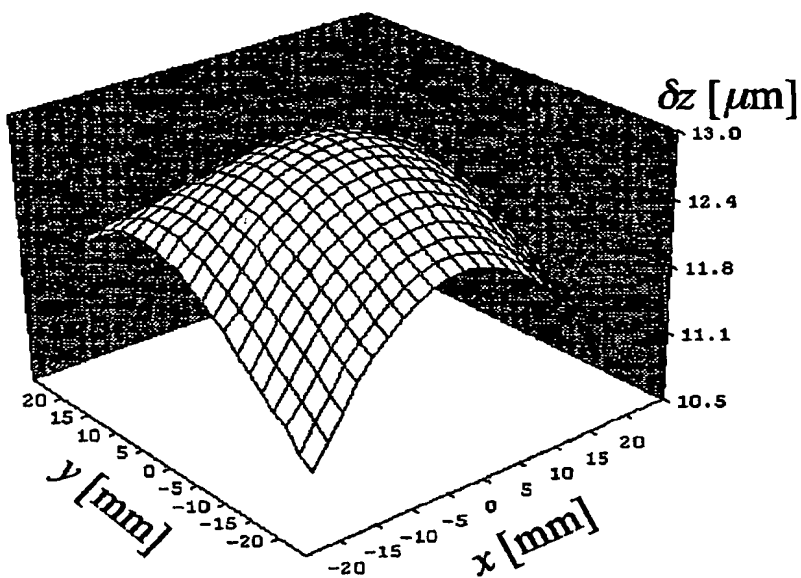


【図9】

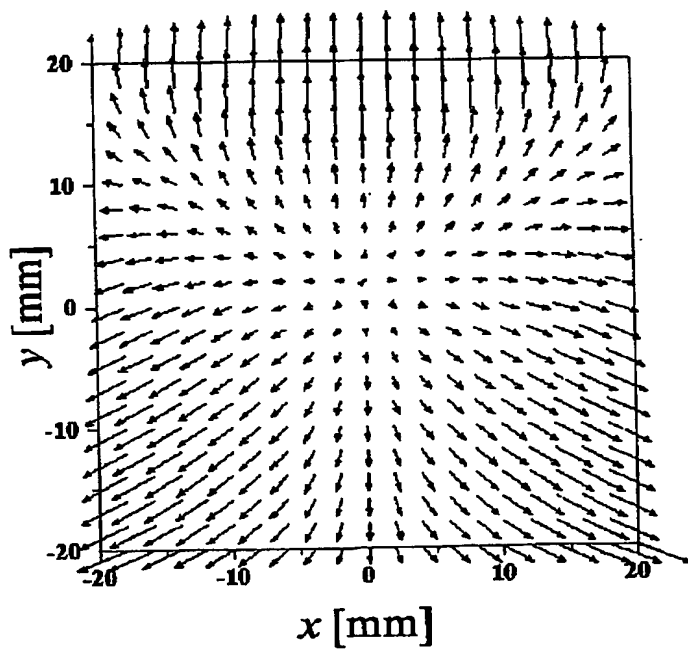


【図10】

(a)

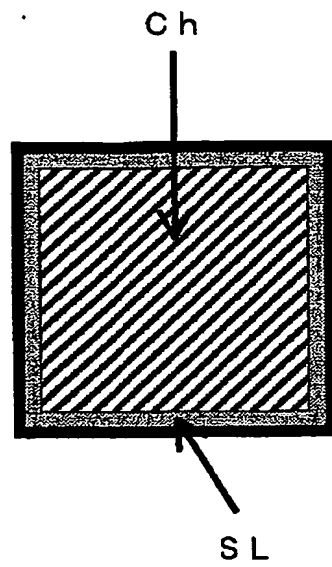


(b)

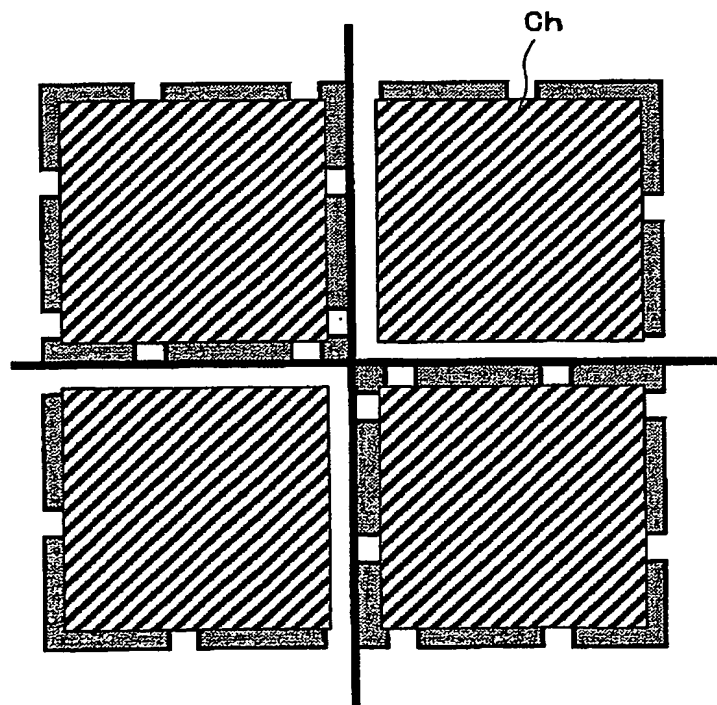


【図11】

(a)

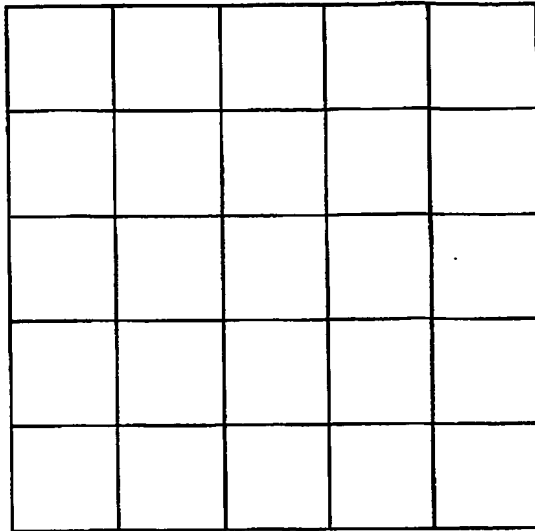


(b)

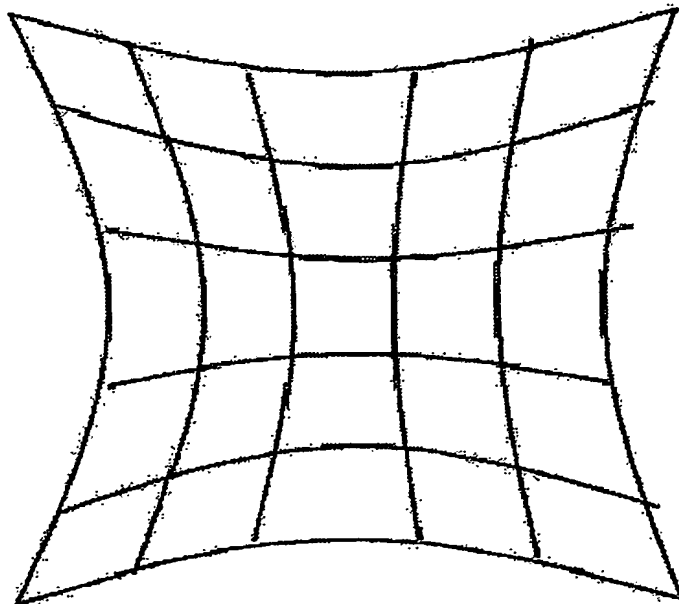


【図12】

(a)

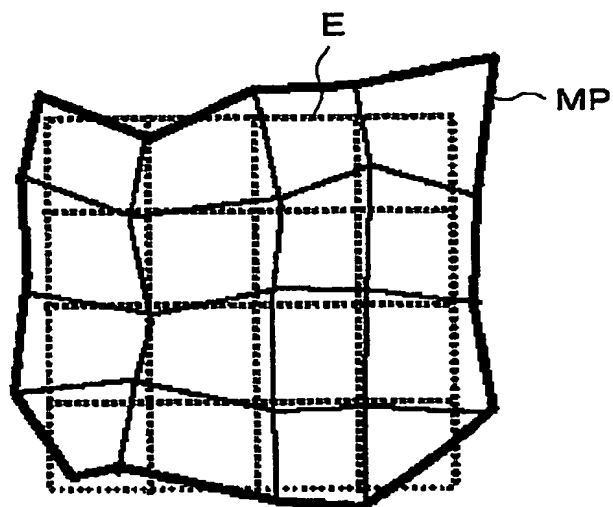


(b)

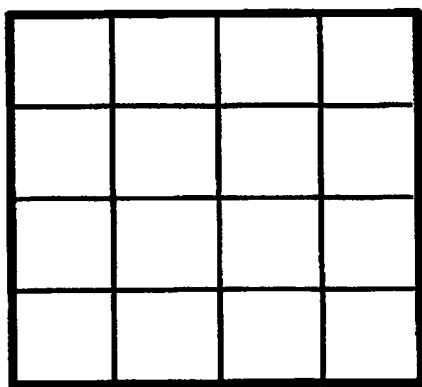


【図13】

(a)



(b)



認定・付加情報

特許出願の番号	特願2002-331090
受付番号	50201735959
書類名	手続補正書
担当官	塩原 啓三 2404
作成日	平成14年11月28日

<認定情報・付加情報>

【補正をする者】

【識別番号】	000002185
【住所又は居所】	東京都品川区北品川6丁目7番35号
【氏名又は名称】	ソニー株式会社

【代理人】

申請人	
【識別番号】	100094053
【住所又は居所】	東京都台東区柳橋2丁目4番2号 創進国際特許事務所
【氏名又は名称】	佐藤 隆久

特願 2002-331090

出願人履歴情報

識別番号

[000002185]

1. 変更年月日

1990年 8月30日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都品川区北品川6丁目7番35号

氏 名

ソニー株式会社

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images
problems checked, please do not report the
problems to the IFW Image Problem Mailbox**